



*Il Gruppo Divulgazione Scientifica  
presenta*

# ***Note di Scienza***



*Seconda edizione  
stagione 2012-2013  
Vol. 1*

*in collaborazione con*

***Radio Belluno***

# *Indice*

<b><i>Lettera del Presidente</i></b>	<b>3</b>
<b><i>Saluto della redazione</i></b>	<b>5</b>
<b>Il moto dei proiettili</b>	<b>7</b>
<i>La donna cannone (Francesco De Gregori)</i>	
<b>I draghi del prof. Scheuchzer</b>	<b>10</b>
<i>La ballata del Cerutti (Giorgio Gaber)</i>	
<b>L'ossessione dell'Unificazione</b>	<b>13</b>
<i>Keep On (Unified Theory)</i>	
<b>Analisi armonica e trasformata di Fourier</b>	<b>16</b>
<i>A hard day's night (Beatles)</i>	
<b>L'acqua e il ghiaccio</b>	<b>20</b>
<i>Glu glu (Rino Gaetano)</i>	
<b>Lo strano caso del prof. Beringer</b>	<b>23</b>
<i>Just an illusion (Imagination)</i>	
<b>La radioattività</b>	<b>26</b>
<i>Radioactivity + Geiger Counter (Kraftwerk)</i>	
<b>Crittografia</b>	<b>29</b>
<i>X&amp;Y (Coldplay)</i>	
<b>Gli esplosivi</b>	<b>33</b>
<i>Explode (The Cardigans)</i>	

<b>L'età della Terra</b>	<b>36</b>
<i>Il mondo non ha età (Enrico Ruggeri)</i>	
<b>Algebra alternativa</b>	<b>40</b>
<i>2+2=5 (Radiohead)</i>	
<b>L'ozono</b>	<b>44</b>
<i>Ozone baby (Led Zeppelin)</i>	
<b>Ricorsione</b>	<b>47</b>
<i>Astronomy (Pink Floyd)</i>	
<b>La storia della Terra in un anno</b>	<b>51</b>
<i>We are young (Fun.)</i>	
<b>La nitroglicerina</b>	<b>54</b>
<i>Nitro (youth energy) (Offspring)</i>	
<b>Un cigno ai raggi X</b>	<b>58</b>
<i>Cygnus X-1 (Book I) (Rush)</i>	

## **Lettera del Presidente**

*Cari lettori di "Note di Scienza", questo è l'ultimo editoriale che scrivo per l'edizione stampata della fortunata trasmissione radiofonica, ideata e condotta dal GDS sulle frequenze di Radio Belluno.*

*Dopo due stagioni (e dopo tre di "Pillole di Scienza") la nostra visione di mission non coincideva più perfettamente con quella della direzione della radio, e così, in punta di piedi e senza far troppo baccano, com'è nello stile del GDS, abbiamo deciso di comune accordo di sospendere la trasmissione; per noi la possibile nuova veste avrebbe denaturato il nostro senso di fare divulgazione scientifica.*

*Certo ad entrambi gli attori in gioco è dispiaciuto, ma spesso certe decisioni, seppur dolorose, sono necessarie. Nel nostro caso, oltre che necessaria, questa decisione è corrisposta ad un ampliamento dell'offerta formativa del GDS. Come molti di voi sapranno, abbiamo deciso di aprire un nuovo canale divulgativo: i laboratori scientifici. Questi richiedono molto tempo ed energia, per cui abbiamo liberato risorse da una parte per impiegarle nell'altra. Siamo ancora in fase sperimentale, ma si sa, ci vuole un po' di tempo di rodaggio per capire se avremo successo; prima si semina e poi si raccoglie!*

*Ma torniamo a "Note di Scienza". Durante questa edizione, come peraltro nella precedente, l'offerta al radioascoltatore prima ed ora a voi lettori, è quanto più variegata. Vi potrete divertire tra chimica, fisica, matematica e geologia. Tante curiosità scientifiche, ma anche musicali. Mi sento di dire che in questa edizione ci siamo superati nello scovare canzoni che pochi ricondurrebbero a concetti scientifici, insomma "cose da GDS"!*

*Chiudo questo editoriale con un grande ringraziamento a tutti coloro che ci hanno seguito in questi anni su Radio Belluno, e siete in tanti... Ma un grazie particolare a tutti coloro che ora stanno leggendo queste righe perché vuol dire che avete contribuito a sostenere le attività del GDS.*

*Un ultimo ringraziamento a tutti i miei collaboratori/consiglieri del GDS che hanno profuso grande impegno nel portare avanti in questi cinque anni le rubriche radiofoniche. Senza di loro il GDS non avrebbe potuto realizzare quello che vi ha offerto e quello che continuerà ad offrirvi. Di progetti ed iniziative ne abbiamo fin troppi...*

*Il Presidente GDS  
Dott. Fabiano Nart*



## ***Saluto della redazione***

*Con infinito piacere anche quest'anno si chiude un'altra avventura radiofonica con gli amici del Gruppo Divulgazione Scientifica "E. Fermi" di Belluno.*

*Un interessante viaggio tra le note musicali di artisti italiani e stranieri che in diversi modi hanno introdotto tematiche scientifiche affrontate con grande professionalità e dinamicità dai membri del gruppo. Un lavoro di ricerca e di sintesi impegnativo, ma che è stato premiato dagli ascoltatori.*

*Al termine di questa collaborazione, nel ringraziare tutti auspico che in futuro Radio Belluno possa ancora ospitare trasmissioni di divulgazione scientifica con quanti hanno finora collaborato.*

*Donatella Boldo  
Conduttrice Radio Belluno*



# Il moto dei proiettili

Dott. Fabiano Nart

---

Titolo: **La donna cannone**

Autore: *Francesco De Gregori*

Album: *Q-disc*

Anno di pubblicazione: 1983

Durata: 4' 38"

---

*Butterò questo mio enorme cuore tra le stelle  
un giorno,  
giuro che lo farò,  
e oltre l'azzurro della tenda nell'azzurro io volerò.  
Quando la donna cannone  
d'oro e d'argento diventerà,  
senza passare dalla stazione  
l'ultimo treno prenderà.*

*E in faccia ai maligni e ai superbi il mio nome  
scintillerà,  
dalle porte della notte il giorno si bloccherà,  
un applauso del pubblico pagante lo sottolineerà  
e dalla bocca del cannone una canzone suonerà.*

*E con le mani amore, per le mani ti prenderò  
e senza dire parole nel mio cuore ti porterò  
e non avrò paura se non sarò bella come dici tu  
ma voleremo in cielo in carne ed ossa,  
non torneremo più...  
na na na na na*

*e senza fame e senza sete  
e senza ali e senza rete voleremo via.*

*Così la donna cannone,  
quell'enorme mistero volò  
tutta sola verso un cielo nero nero s'incamminò.  
Tutti chiusero gli occhi nell'attimo esatto  
in cui sparì,  
altri giurarono e spergiurarono  
che non erano stati lì.*

*E con le mani amore, con le mani ti prenderò  
e senza dire parole nel mio cuore ti porterò  
e non avrò paura se non sarò bella come vuoi tu  
ma voleremo in cielo in carne ed ossa,  
non torneremo più...  
na na na na na*

*E senza fame e senza sete  
e senza ali e senza rete voleremo via...*

## **Fabiano, oggi ci proponi questa bellissima canzone italiana**

Sì, proprio l'altro giorno mi è capitato di ascoltarla e subito ho pensato che avrei potuto proporla per la nostra trasmissione, Note di Scienza!

## **E come colleghi questa canzone alla scienza?**

In questa canzone si parla di una donna che vola e che porta con sé un mistero, questa donna è la donna cannone; per cui si può immaginare che sia la donna che viene sparata da un cannone come avviene nel circo. Da qui ci si può collegare ad alcuni concetti di fisica, in particolare allo studio del moto dei proiettili.

## **Ma il moto dei proiettili si studia a scuola o all'università?**

Certo, il moto dei proiettili è uno dei punti fondamentali del programma di fisica, in quanto è



molto istruttivo: si combinano le leggi del moto rettilineo uniforme orizzontale e del moto rettilineo uniformemente accelerato verticale. Il primo, dovuto alla spinta dell'arma e quindi con un certo angolo, viene considerato scomposto in un moto orizzontale ed in un secondo dovuto alla forza di gravità, che accelera i corpi verso il basso, quindi verticale. Il moto combinato è il moto parabolico e più precisamente si dice che è un moto bidimensionale.

### ***Chi fu a studiare per primo questo moto?***

Ad accorgersi che il moto dei proiettili era la composizione di due moti fu Galileo Galilei, il padre della scienza moderna. Ma non fu comunque il primo ad occuparsene.

### ***E chi fu il primo?***

Fu Tartaglia, nel 1537, col ragionamento matematico che dimostrò che nessuna parte della traiettoria del proiettile poteva essere rettilinea, ma sempre curvilinea. Restava aperta la questione di che linea curva si trattasse, cioè di scriverne l'equazione.

### ***Quali sono le caratteristiche misurabili di questo moto parabolico?***

La prima che mi viene in mente, e forse la più importante, è la gittata: ovvero la distanza misurata sul terreno tra il punto di lancio ed il punto di atterraggio del corpo, nell'ipotesi che i due punti si trovino alla stessa altezza.

### ***E da cosa dipende questa gittata?***

A parità di velocità di lancio iniziale, la gittata dipende dall'angolo di lancio e si dimostra matematicamente, utilizzando la formula del moto parabolico, che questa è massima per un angolo di  $45^\circ$ . Questo, ad esempio, si applica al calcio quando il portiere vuole massimizzare la distanza alla quale deve cadere il pallone. Associato alla gittata c'è il tempo di volo, quindi il tempo tra il punto di lancio e di atterraggio.

### ***Si può anche calcolare l'altezza massima?***

Certo, sempre usando la formula del moto parabolico. Si dimostra che questa dipende dalla velocità iniziale e dall'angolo di lancio, come per la gittata. Nelle formule entra anche l'accelerazione di gravità, che però possiamo considerare costante sulle piccole altezze.

### ***Mi stai dicendo che si può considerare costante l'accelerazione di gravità, questa è quindi un'approssimazione, ce ne sono altre?***

Sì, di approssimazioni ce ne sono addirittura tre! La prima, quella della gravità: l'accelerazione del moto è verticale; il suo modulo è pari all'accelerazione di gravità sulla crosta terrestre:  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ . Dunque, il corpo si trova in un campo di gravità uniforme ed indipendente dal tempo. La seconda: tutta la massa e la geometria del corpo sono concentrate in un unico punto. La terza: le eventuali forme di attrito legate alla resistenza dell'aria sono trascurabili.

### ***Scusa, ma ho un'altra curiosità; prima hai parlato dell'altezza massima raggiunta dal proiettile e così, a naso, mi viene da pensare che corrisponda a metà gittata, puoi confermarmi questo?***

Hai ragione e il motivo è molto semplice: la parabola è simmetrica, in questo caso una "U" rovesciata ed è facile visualizzare nella nostra mente che il punto più in alto corrisponda alla parte convessa della parabola, che si trova in centro.

***Dicevi in esordio che il moto dei proiettili è la composizione di due moti, ci sono dei punti nei quali esiste solo uno dei due?***

Di punti ne esistono ben due. Uno corrisponde al momento del lancio; difatti, nell'istante in cui il proiettile lascia la bocca dell'arma, la forza di gravità non ha ancora iniziato ad agire, per cui il proiettile tende ad andare dritto, con moto rettilineo uniforme, quindi a velocità costante. Quando il proiettile tocca terra, la sua traiettoria è verticale; nel momento dell'impatto solo la forza di gravità agisce, mentre il suo moto rettilineo dovuto alla spinta è nullo.

***Immagino che qualcosa di particolare esista anche nel punto di mezzo della parabola, cioè quando viene raggiunta l'altezza massima.***

Ritorniamo al momento in cui il proiettile lascia la bocca dell'arma con un certo angolo, abbiamo detto che la forza di gravità in quell'istante non si fa sentire. Appena dopo inizia la sua forza di trascinarsi verso il basso. Questo contributo diventa sempre più forte e vince man mano la spinta dell'arma, quindi l'angolo del moto, cala. Ad un certo punto l'angolo diventa di  $0^\circ$ , quindi il proiettile procede per un certo istante in orizzontale; questo è il punto di massima altezza e che corrisponde alla parte convessa della parabola. Da questo punto in poi prevale la forza di gravità che inverte la traiettoria, da “verso l'alto” a “verso il basso”.

***Oltre all'esempio del portiere che rinvia il pallone, ci sono altre applicazioni pratiche del moto dei proiettili?***

L'applicazione forse più importante è quella forense, dove si studiano le traiettorie dei proiettili in caso di incidenti gravi. Questa parte della dinamica si chiama balistica (dal verbo greco *balliz*, che vuol dire “io lancio”, da cui deriva anche il termine balestra). Un'applicazione meno seria è quella dei tiri al bersaglio, come la specialità olimpica del tiro con l'arco in cui l'arciere deve lanciare la freccia un po' in alto rispetto alla linea arco-bersaglio, per tenere conto della forza di gravità.

# I draghi del prof. Scheuchzer

Dott. Manolo Piat

---

Titolo: **La ballata del Cerutti**

Autore: *Giorgio Gaber*

Album: *La ballata del Cerutti*

Anno di pubblicazione: 1960

Durata: 4' 04"

---

*Io ho sentito molte ballate: quella di Tom Dooley, quella di Davy Crocket e sarebbe piaciuto anche a me scriverne una così invece, invece niente: ho fatto una ballata per uno che sta a Milano, al Giambellino: il Cerutti, Cerutti Gino.*

*Rit.: Il suo nome era Cerutti Gino  
Ma lo chiamavan Drago,  
gli amici al bar del Giambellino  
dicevan che era un mago.*

*Vent'anni, biondo, mai una lira,  
per non passare guai  
fiutava intorno che aria tira  
e non sgobbava mai.*

*Rit.: (...)*

*Una sera in una strada scura  
Occhio c'è una lambretta:  
fingendo di non aver paura  
il Cerutti monta in fretta.*

*Ma che rognà nera quella sera  
Qualcuno vede e chiama:  
veloce arriva la pantera  
e lo vede la madama*

*Rit.: (...)*

*Ora è triste e un poco manomesso  
Si trova al terzo raggio  
E' lì che attende il suo processo  
Forse vien fuori a maggio.*

*S'è beccato un bel tre mesi il Gino  
Ma il giudice è stato buono  
Gli ha fatto un lungo verborino:  
è uscito col condono.*

*Rit.: (...)*

*È tornato al bar Cerutti Gino  
E gli amici nel futuro  
Quando parleran del Gino  
Diran che è un tipo duro.*

***Buongiorno e ben trovato Manolo, iniziamo questa puntata di “Note” con Giorgio Gaber: una canzone insolita per parlare di scienza.***

Buongiorno Donatella e a tutti gli ascoltatori; ho voluto rendere omaggio al grande Signor G e al suo successo d'esordio, risalente al 1960 e composto assieme a Umberto Simonetta, “la Ballata del Cerutti”. La canzone, come dice il titolo, è una ballata in stile country, parodia di quelle tipiche della musica americana del dopoguerra che celebravano gli eroi della patria. Il protagonista è l'incarnazione dell'italiano balordo, fannullone e squattrinato; un tipaccio qualsiasi (“Cerutti Gino” è infatti un nome piuttosto comune), che pur di non lavorare si caccia nei peggiori guai. Eppure tra gli amici del bar, nel quartiere milanese del Giambellino, il Gino era considerato un vero drago!

### ***Quindi riprendiamo il discorso dove lo avevamo lasciato, dai draghi.***

Esatto. Nel nostro ultimo incontro della scorsa edizione abbiamo spiegato in breve come, nei secoli passati, i fossili dei vertebrati venissero spesso attribuiti a creature mostruose e fantastiche, tra cui i draghi. L'esempio più bello e meglio documentato di come nascevano questi ultimi si trova nella città di Klagenfurt, in Austria, dove esiste un monumento al drago, il Lindwurmbrunnen. La statua, che rappresenta un animale dal corpo serpentino irto di scaglie, con ali di pipistrello, coda ritorta e fauci paurose, venne scolpita nel 1636 ispirandosi a un presunto cranio di drago che da secoli si conservava a Klagenfurt e che in realtà è il cranio di un rinoceronte lanoso dell'età glaciale.

### ***Si trattava quindi di superstizione popolare?***

In gran parte sì; le storie di streghe, diavoli e draghi furono una caratteristica del Medio Evo, ma ancora nei primi decenni del 1700 in Austria, in Germania e in tutta l'Europa centrale si favoreggiava di mostri che abitavano i più remoti recessi delle Alpi. E anche eminenti scienziati dedicarono tempo e fatica alla descrizione e allo studio dei draghi, fondando persino una disciplina pseudoscientifica, la dracologia, e creando per essi una vera e propria classificazione zoologica. È il caso ad esempio del *Draco bipes apteros captus in Agro Bononiensi*, un drago bolognese del XVII secolo, segnalato, guarda caso, in una zona ricca di fossili di vertebrati.

### ***E come venivano descritti questi esseri leggendari?***

Generalmente, anche per giustificare la rarità dei presunti avvistamenti, si affermava che i draghi rimanevano rintanati nelle grotte, ma che a volte si muovevano tra i boschi più fitti e le pietraie. Si diceva che erano simili a dei serpenti; che, tuttavia, avevano spesso zampe artigliate ed ali e che la loro testa assomigliava ad un viso umano deforme; spesso poi avevano code e lingue multiple ed erano variamente colorati.

### ***Semberebbero descrizioni molto dettagliate!***

Infatti, molte sono opera di illustri uomini di scienza, che però spesso, nei loro studi, alle osservazioni personali tendevano a mescolare le testimonianze orali non esattamente attendibili. E lo studioso che più seguì questo metodo e anche il più convinto sostenitore dell'esistenza dei draghi fu probabilmente Johann Jakob Scheuchzer.

### ***Cosa ci puoi dire di lui?***

Scheuchzer era un medico svizzero, vissuto tra il 1672 e il 1733. Durante e dopo i suoi studi di medicina, viaggiò e visitò l'Europa centrale, attraversando numerose volte la Svizzera e si interessò alle scienze naturali. Le sue esperienze di viaggio furono pubblicate sotto il titolo "Itinera alpine", un libro che ebbe grande successo e varie ristampe, contenente osservazioni della cultura e della natura delle Alpi Svizzere. Un intero capitolo dell'opera è dedicato ai resoconti di vari avvistamenti di presunti draghi, descritti dettagliatamente e anche rappresentati in alcune incisioni.

### ***Parlavamo degli studi di Scheuchzer. A quali conclusioni è giunto?***

Bisogna dire che Scheuchzer è spesso scettico riguardo le leggende locali, riuscendo (in parte) a confutarle. Ad esempio, nel 1718 correttamente nota che degli ossami attribuiti a un drago erano più probabilmente resti di un animale moderno e conosciuto, ossia un orso. Alla fine rimane però sostanzialmente ottimista sul fatto che almeno alcune storie abbiano un fondo di verità e che rappresentino incontri con creature rare, ma esistenti, non ancora riconosciute dai naturalisti.

***Mi è parso di capire che questo studioso si sia dedicato anche ad altro, oltre ai draghi, vero?***

Scheuchzer, come molti suoi contemporanei, era una mente eclettica. Oltre che di biologia, mitologia e dracologia, infatti, si occupò anche di geologia: della formazione delle montagne, di fossili, del significato degli strati rocciosi, di grotte, della distribuzione delle risorse minerarie, di sorgenti. Nel 1709 pubblicò la summa dei suoi studi sulle piante fossili, in un lavoro intitolato “Herbarium Diluvianum”; in 14 tavole esibiva fossili provenienti dal Carbonifero inglese, dal Permiano della Germania e dal Cenozoico svizzero. Scheuchzer poi riconobbe l'origine inorganica delle dendriti, ossia concrezioni minerali che sembrano delle piante e le descrisse come prodotte dalla percolazione di un fluido entro gli strati. Questa osservazione è ammirevole, se si considera che ancora nel 1879 alcune dendriti trovate in Siberia vennero descritte dal paleobotanico Angers come un'ipotetica felce primordiale, l'*Eopteris*.

***Quindi il medico svizzero era uno studioso di tutto rispetto!***

Scheuchzer seppe trovare molte risposte corrette in materia di geologia e paleontologia, ancor più lodevoli se consideriamo le limitate conoscenze sulla Terra che si potevano avere a disposizione nel XVIII secolo. Nonostante ciò, questo scienziato è ingiustamente salito agli onori della cronaca solo per un grave errore, forse il più famoso abbaglio nella storia della geologia.

***Cosa ha combinato questo creativo personaggio?***

Scheuchzer era un fervente sostenitore della “teoria diluviale”, secondo cui i fossili erano i resti degli organismi periti durante il Diluvio Universale. Egli cercò a lungo le prove di questo fatto, finché nel 1725, in una cava nei pressi di Oeningen, sul lago di Costanza, venne alla luce un fossile straordinario: lo “scheletro osseo di uno di quegli uomini scellerati i cui peccati attirarono sul mondo l'atroce sventura del Diluvio”! Scheuchzer studiò con entusiasmo questo reperto, che chiamò *Homo diluvii testis* (Uomo testimone del diluvio) e l'anno seguente ne pubblicò l'accurata descrizione, accompagnata da un'incisione. Peccato che, qualche anno più tardi e comunque dopo la morte di Scheuchzer, il reperto esaminato dal grande paleontologo George Cuvier, si rivelò essere una salamandra gigante del Miocene, simile all'odierno *Megalobatrachus japonicus* del Giappone. L'animale fu poi battezzato *Andrias scheuchzeri* (L'uomo di Scheuchzer) in memoria del suo scopritore. Chissà cosa ne pensavano al bar del Giambellino...

# L'ossessione dell'Unificazione

Dott. Alex Casanova

---

Titolo: **Keep On**

Autore: *Unified Theory*

Album: *Unified Theory*

Anno di pubblicazione: 2000

Durata: 5' 10"

---

*Fighting waves thirty feet tall  
The boat is nearly full of water  
When your thinking becomes crystal clear  
Life is consumed by the moment*

*Keep on, keeping on  
Don't wait for the wind to blow  
Keep on, keeping on  
Don't wait for the wind to blow*

*Is this fear or love I feel  
Did we sink or are we sailing  
Calm and warm the water moves  
Over me like a lover who puts me to sleep*

*There was a lot of things I never believe  
Like that I would ever drown at sea*

*There lived a man in control of his life who believed  
To die doing what you loved is alright*

*Keep on, keeping on  
Don't wait for the wind to blow  
Keep on, keeping on  
Don't wait for the wind to blow*

*There was a lot things I never believe  
Like that I'd ever drown in the sea  
I'm not bitter I'd sail out again  
If I could*

*There was a lot of things I never believe  
Like that I'd ever drown at sea*

*There lived a man in control of his life who believed  
To die*

## **Cosa abbiamo ascoltato oggi Alex?**

Oggi abbiamo ascoltato il singolo di un gruppo statunitense che non ha avuto una vita lunga. Un gruppo di Seattle nato nel 1998 dalle ceneri di altri gruppi di quel periodo, come i Blind Melon, con componenti anche illustri come Dave Krusen, che è stato il primo batterista dei Pearl Jam. Il gruppo si sciolse quasi subito nel 2001, dopo il primo album di cui abbiamo ascoltato un brano dal titolo "Keep On". In realtà pubblicarono un secondo album nel 2006, ma la continuità artistica non era il loro forte.

## **Una carriera decisamente strana?**

Sì, un gruppo dall'andamento altalenante che forse non ha mai trovato la chimica giusta... tuttavia, mi incuriosiva il nome della band, che poi dà il titolo al loro primo album: *Unified Theory*.

## **Teoria unificata, giusto?**

Dici bene Donatella, teoria unificata che spesso ritorna come termine in fisica e che negli ultimi anni è spesso associata alla Teoria delle Stringhe. Ma ancora più curioso è il fatto che la band

statunitense si sia ispirata agli ultimi lavori di Einstein e quindi che possa aver avuto un'ispirazione di carattere fisico, riferendosi all'ossessione che caratterizzò l'ultima fase della carriera del geniale fisico tedesco.

### ***Hai parlato di ossessione di Einstein, in che senso?***

Albert Einstein lo conosciamo tutti come il padre della Teoria della Relatività; nel 1905 pubblicò quattro articoli che cambiarono il pensiero scientifico moderno, dando il via alla rivoluzione relativistica e contribuendo alla nascita della meccanica quantistica. Non solo, qualche anno più tardi raggiunse l'apice della sua carriera pubblicando la Teoria della Relatività Generale, dove la forza di gravità viene descritta attraverso il ruolo dinamico dello spaziotempo. Da quel momento l'attenzione del fisico tedesco fu rivolta quasi esclusivamente alla ricerca di una teoria unificata; dico ultimo periodo, ma in realtà mi riferisco ad un lungo periodo, all'incirca dal 1920 al 1950. Possiamo così capire perché parlo di ossessione...

### ***Ecco, Alex, hai citato due aspetti, la Relatività Generale e la ricerca di una teoria unificata; cosa può dirci brevemente della prima?***

Quando parliamo di Relatività Generale parliamo di quella teoria che descrive la forza di gravità; ha visto la luce tra la fine del 1915 e l'inizio del 1916 dopo un lungo periodo di gestazione. La forza di gravità è una forza ben nota che, si potrebbe dire scherzosamente, ci tiene con i piedi per terra. La Teoria della Relatività Generale descrive questa forza in funzione della curvatura dello spaziotempo, cioè la gravità è una manifestazione delle proprietà geometriche dello spazio e del tempo.

### ***E invece cosa si intende per teoria unificata in fisica?***

In fisica si parla di teoria unificata quando un modello è in grado di descrivere in modo semplice ed attraverso poche equazioni matematiche fenomeni differenti fino a quel momento spiegati in modo distinto. La ricerca di una teoria unificata costituisce il Santo Graal per un fisico; oggi spesso si sente parlare di Teoria del Tutto, associando questo concetto a quello della Teoria delle Stringhe. Riguarda proprio la ricerca di una teoria in grado di descrivere in modo unitario, in un unico quadro teorico-matematico, tutte le forze fondamentali della Natura.

### ***Giusto per capire fino in fondo, quali sono queste forze fondamentali della Natura?***

Sono quattro: la forza di gravità descritta, come detto prima, dalla Relatività Generale, la forza elettromagnetica, alla base di tutti i fenomeni elettrici e magnetici che ci circondano, la forza nucleare debole, responsabile dei decadimenti radioattivi ed infine, ultima, ma non ultima, la forza nucleare forte capace di legare i quarks all'interno dei protoni e dei neutroni.

### ***Vuoi farci Alex degli esempi di unificazione?***

Beh, il primo esempio riguarda la forza elettromagnetica; in fondo la prima unificazione è avvenuta grazie a Maxwell, che nella seconda metà dell'800 riuscì a sviluppare un modello matematico in grado di descrivere con sole quattro equazioni, le cosiddette equazioni di Maxwell, tutti i fenomeni magnetici, elettrici ed ottici che fino a quel momento venivano descritti in modo differente. Un altro esempio è più recente: durante gli anni '60 Weinberg, Salam e Glashow, ma in realtà an-

che altri scienziati, pubblicarono i loro risultati riguardanti la “teoria elettrodebole”. In tal caso la forza nucleare debole e l'elettromagnetismo appaiono come manifestazioni di bassa energia di un'unica forza. Il fatto che noi vediamo due forze distinte è frutto di una separazione di cui il bosone di Higgs sarebbe il testimone unico.

***Ritorniamo ad Einstein, visto che il gruppo che abbiamo ascoltato si ispira per così dire agli ultimi lavori di questo grande fisico.***

Dici bene Donatella... Einstein lavorò intensamente per trent'anni nel tentativo di trovare una teoria unificata in grado di spiegare non solo la forza di gravità, ma anche tutte le altre forze fondamentali della Natura. Bisogna sottolineare un aspetto che risulta storicamente importante: dopo l'avvento della Relatività Generale molti fisici e matematici tentarono di sviluppare una teoria in grado di unificare la gravità e l'elettromagnetismo, che all'epoca erano le uniche forze note; e lo facevano estendendo opportunamente proprio la Relatività Generale di Einstein. Fra questi fisici e matematici possiamo citare Hermann Weyl, Arthur Eddington e l'outsider Theodor Kaluza. Il fatto curioso è che la reazione di Einstein fu in un primo momento molto scettica, e su Kaluza la cosa è piuttosto particolare...

***Vuoi raccontarci questo episodio che coinvolse Einstein e Kaluza?***

Verso la fine degli anni '20 Einstein era una personalità di rilievo per i risultati che aveva ottenuto; era un punto di riferimento e di confronto per tutti. Kaluza, che all'epoca era un giovane fisico poco conosciuto, scrisse un articolo dove unificava la gravità con l'elettromagnetismo grazie all'introduzione di una dimensione spaziale aggiuntiva. Ne 1919 spedì ad Einstein il suo articolo affinché fosse pubblicato: Einstein fu inizialmente impressionato dall'eleganza matematica della teoria, ma si dimostrò scettico nei confronti della presenza di una dimensione spaziale aggiuntiva. L'articolo così non venne pubblicato subito, ma solo dopo due anni, nel 1921. Da lì in poi, in realtà, Einstein non riuscì più a togliersi dalla testa la ricerca di una teoria unificata anche attraverso l'uso del concetto di extra dimensione. Qualche anno più tardi addirittura elogiò questa strana e curiosa idea, augurandole una lunga vita.

***Una ricerca che si tramutò in un'ossessione e lo accompagnò a lungo...***

Sì, il sogno che Einstein cullò per il resto della sua vita; in un certo senso, Einstein si fossilizzò intorno alla possibilità di sviluppare una teoria unificata, mentre i suoi colleghi seguivano altri promettenti filoni di ricerca. In realtà, oggi, il sogno di Einstein è più vivo che mai: sono ancora molti i fisici che danno la caccia ad una teoria del tutto, ad una teoria capace di descrivere in modo semplice ed unificato tutti i fenomeni naturali che ci circondano. Una caccia decisamente più lunga delle brevi parentesi musicali degli Unified Theory.



# Analisi armonica e trasformata di Fourier

Ing. Paolo Alessandrini

---

Titolo: ***A hard day's night***

Autore: *Beatles*

Album: *A hard day's night*

Anno di pubblicazione: 1964

Durata: 2' 33"

---

*It's been a hard day's night  
And I've been working like a dog.  
It's been a hard day's night  
I should be sleeping like a log.  
But when I get home to you  
I find the things that you do  
Will make me feel alright.*

*You know I work all day  
To get you money to buy you things.  
And it's worth it just to hear you say  
You're going to give me everything.  
So why on earth should I moan  
'Cause when I get you alone  
You know I feel ok.*

*When I'm home everything seems to be right.  
When I'm home feeling you holding me tight, tight,  
yeah.*

*It's been a hard day's night  
And I've been working like a dog.  
It's been a hard day's night*

*I should be sleeping like a log.  
But when I get home to you  
I find the things that you do  
Will make me feel alright.*

*So why on earth should I moan  
'Cause when I get you alone  
You know I feel ok.*

*When I'm home everything seems to be right.  
When I'm home feeling you holding me tight, tight,  
yeah.*

*It's been a hard day's night  
And I've been working like a dog.  
It's been a hard day's night  
I should be sleeping like a log.  
But when I get home to you  
I find the things that you do  
Will make me feel alright.*

*You know I feel alright.  
You know I feel alright.*

## ***Abbiamo iniziato questa puntata nientemeno che con i Beatles!***

Già, e lasciami dire che, da appassionato dei Fab Four come sono, sto realizzando uno dei miei sogni: parlare alla radio non soltanto di scienza come ho fatto altre volte, ma anche della musica dei Beatles!

## ***Che cosa abbiamo ascoltato, Paolo?***

La canzone si intitola "A hard day's night", ed è il brano che dà il titolo al terzo album del gruppo di Liverpool, pubblicato nel luglio del 1964. Lo strano titolo è traducibile in italiano più o meno come "La sera di una giornata difficile": pare che fosse un modo di dire utilizzato spesso dal

batterista del gruppo, Ringo Starr. John Lennon scrisse quasi interamente la musica e il testo della canzone, e la registrazione venne fatta in una sola giornata, il 16 aprile 1964.

### ***Ma dal punto di vista scientifico cos'ha di particolare questa canzone?***

Come forse gli ascoltatori avranno notato, questa canzone si apre con un accordo, un accordo molto particolare, dissonante ed attraente, che è diventato famosissimo, non solo tra gli appassionati come me...

### ***Che cos'è un accordo?***

Un accordo è un insieme di note, almeno tre, che vengono suonate contemporaneamente.

### ***Bene, e che problemi ci sono con questo accordo suonato dai Beatles?***

Il problema è che nessuno sa di preciso come fecero i Beatles a ottenere questa strana armonia all'inizio di "A hard day's night", cioè quali note furono suonate per creare l'accordo. Secondo i resoconti ufficiali, in quel 16 aprile 1964 l'organico era composto dalla chitarra elettrica a 12 corde di George Harrison, dalla chitarra acustica di John Lennon e dal basso elettrico di Paul McCartney (oltre alla batteria di Ringo Starr, che però non poteva contribuire all'accordo essendo uno strumento a suono indeterminato). Qualcuno ha trascritto l'accordo come Sol Si Do Re Fa, altri l'hanno interpretato come Re Fa Sol La Do, qualcuno come Re Fa La Do Sol, altri ancora propongono trascrizioni più complesse; ma in ogni caso, prevedendo soltanto l'uso di due chitarre e un basso sembra impossibile riprodurre alla perfezione la sonorità che si ascolta all'inizio di quel disco del 1964.

### ***Si potrebbe dire che questo è uno dei grandi misteri del rock'n'roll...***

In effetti sì, per quanto ozioso, si tratta di un quesito al quale molti appassionati hanno dedicato tempo ed energie e sul quale sono stati versati, nel corso degli anni, fiumi di inchiostro! Qualche anno fa, però, un professore di matematica, un certo Jason Brown della Dalhousie University in Canada, ha probabilmente messo le parole "fine" sull'annosa questione, con un articolo pubblicato su una rivista specialistica. E lo ha fatto, neanche a farlo apposta, usando la matematica.

### ***Come ha fatto questo professore ad affrontare la questione?***

Brown ha utilizzato un approccio chiamato "analisi armonica", o "analisi di Fourier", dal nome del matematico e fisico francese che introdusse e studiò questa tecnica all'inizio dell'Ottocento. Più concretamente, Brown ha analizzato l'onda sonora corrispondente al frammento musicale in questione, e l'ha scomposta in una somma di molti termini, ciascuno dei quali rappresenta un'onda dalla forma perfettamente sinusoidale, cioè identica al semplice grafico di una funzione seno o coseno. Il suono prodotto da un'onda semplice di questo tipo è una nota "pura", come quella generata da un diapason.

### ***Paolo, ma allora ogni suono è in realtà la somma di suoni puri simili a quelli del diapason?***

Proprio così. Quando ero bambino, era per me un mistero meraviglioso il fatto che dai giradischi (allora non c'era il lettore CD, ma il giradischi), ma anche dal televisore, dalla radio, ecc., potessero uscire tutti i suoni possibili e immaginabili. Come fa il giradischi, mi chiedevo, a produrre il suono di un'intera orchestra o la voce di una persona? E come fa la TV a riprodurre alla perfezione il ruggito di un leone, il rumore di un tuono, e così via? Mica dentro il giradischi c'è un'intera or-

chestra e mica nella TV c'è un leone! Ebbene, la risposta mi fu chiara quando studiai la trasformata di Fourier: qualsiasi onda sonora, per quanto complessa, è matematicamente uguale alla somma di più onde sonore semplici di tipo sinusoidale, ciascuna delle quali corrisponde ad una singola nota con un timbro sonoro "puro", come quello del diapason. Il giradischi e tutti gli apparecchi di riproduzione del suono contengono al loro interno una serie di diapason elettronici che possono essere messi in vibrazione: combinando opportunamente le loro oscillazioni si possono ottenere tutti i suoni possibili e immaginabili dell'universo!

***Allora anche quando suono una singola nota sul pianoforte, in realtà emetto non una, ma tante onde pure...***

Esatto. Se suono un Do, ad esempio, viene creata una serie di onde sinusoidali, delle quali la più intensa è quella che corrisponde al Do, e le altre, via via più deboli, corrispondono a suoni a frequenze multiple di quella del Do, che i musicisti e i fisici chiamano "armonici" relativi alla nota Do. Le intensità relative dei vari armonici alle frequenze superiori determinano complessivamente il timbro proprio di ogni strumento musicale.

***Questa faccenda degli armonici sembra una cosa molto matematica, ma i musicisti la conoscono molto bene, non è così?***

Eh sì, l'analisi di Fourier, insomma il fatto che ogni nota si scompone in una sequenza di suoni armonici, può sembrare molto arida e freddamente matematica, ma dobbiamo ricordare che è alla base di tutta l'armonia: la magia degli accordi e tutta l'arte del contrappunto, della fuga e della polifonia si reggono su questi concetti matematici. D'altra parte, già Pitagora aveva capito che la musica e la matematica sono strettamente imparentate tra di loro, e anche il famoso compositore George Gershwin (quello della "Rapsodia in Blu") disse un giorno che "la musica è una scienza emozionale".

***Paolo, abbiamo detto che una nota equivale alla somma di più note armoniche diverse; e un accordo?***

Un accordo, abbiamo visto poco fa, sono più note suonate contemporaneamente. Se ognuna di esse viene scomposta nella sequenza dei suoi armonici, beh, allora l'accordo si scompone in più sequenze di armonici: ogni sequenza è associata ad una delle note costitutive. Anche l'accordo iniziale di "A hard day's night", quindi, può essere scomposta in un bell'insieme di suoni armonici, da cui, grazie a particolari accorgimenti, si può tentare di dedurre le note che compongono l'accordo. È questo il procedimento usato dal professor Brown.

***Quali tecniche ha utilizzato il professor Brown per svelare l'enigma dell'accordo dei Beatles?***

Per eseguire l'analisi di Fourier sull'accordo iniziale di "A hard day's night", cioè per ottenere i suoni armonici elementari, Brown ha utilizzato una speciale tecnica di calcolo chiamata "trasformata discreta di Fourier": cioè ha campionato il segnale originario tratto dal disco dei Beatles, ottenendo una successione di valori numerici, decine di migliaia al secondo, e poi ha applicato la trasformazione per convertire questa successione in un insieme di funzioni semplici, ognuna corrispondente ad una nota musicale ben precisa.

### ***E queste tecniche si sono rivelate efficaci?***

All'inizio, lo studio del professor Brown sembrava essersi inceppata su un binario morto. L'analisi di Fourier rivelava infatti troppe frequenze e le due chitarre suonate da Harrison e da Lennon e il basso di Paul McCartney non bastavano a rendere conto di tutte queste note. Certo, alcune delle note uscite dall'analisi potevano essere prodotte dal rumore di fondo, ma quali esattamente? Brown era aiutato da alcuni fatti certi: ad esempio, le note più basse provenivano senz'altro dal basso di McCartney, ogni corda pizzicata doveva essere accompagnata dal corrispondente suono armonico all'ottava superiore, e così via. Ma questi indizi non bastavano a spiegare tutte le frequenze uscite dall'analisi: in particolare, restavano alcune armoniche associate ad una nota di Fa, che non poteva essere uscita né dal basso di McCartney, né dalla chitarra a 12 corde di Harrison, né dalla chitarra di Lennon.

### ***E allora? Da dove uscì quel famigerato Fa?***

Un giorno il professor Brown ebbe l'idea risolutiva: oltre alle due chitarre, al basso e alla batteria, in quel 16 aprile 1964 alla registrazione non poteva che essere presente anche un pianoforte, e fu questo pianoforte a suonare il Fa fantasma, insieme ad altre note.

### ***E chi suonava questo pianoforte?***

Lo suonava George Martin, il cosiddetto "quinto Beatles", produttore del celebre gruppo e autore di indimenticabili arrangiamenti ed orchestrazioni (come in "Yesterday", "Eleanor Rigby" e "Penny Lane"). Così il professor Brown decifrò l'enigma dell'accordo di "A hard day's night". Considerando che l'articolo di Brown è uscito ormai da molti anni, è curioso che nessuno abbia ancora pensato di chiedere a George Martin se quel giorno lui si trovasse davvero alla tastiera del pianoforte a registrare con i Beatles, o se invece era in tutt'altre faccende affaccendato... Ma poco importa: l'importante è che grazie a questo spunto offertoci dal celebre accordo e dall'articolo di Brown abbiamo potuto parlare di suoni armonici, di trasformata di Fourier, insomma di relazioni tra musica e matematica.

# L'acqua e il ghiaccio

Dott. Fabiano Nart

---

Titolo: ***Glu glu***

Autore: *Rino Gaetano*

Album: *Mio fratello è figlio unico*

Anno di pubblicazione: 1976

Durata: 2' 34"

---

*Glu glu l'esquimese nell'igloo  
da suicida va su e giù e affogando fa glu glu  
Glu glu l'esquimese nell'igloo  
da suicida va su e giù e affogando fa glu glu  
Glu glu l'esquimese nell'igloo  
da suicida va su e giù e affogando fa glu glu  
Glu glu l'esquimese nell'igloo*

*da suicida va su e giù e affogando fa glu glu  
C'è un attimo però l'aereo per Francoforte  
non ho più preso il treno da quattro anni almeno  
Un marinaio del Pireo sulla faccia aveva un neo  
la moglie inglese Mary gli schiacciava i punti neri.  
C'è da una settimana una sonda amer(r)icana...*

***Una canzone del mitico Rino Gaetano, Glu glu, testo molto breve e che subito ti rimane in testa.***

Guarda Donatella, ho riscoperto Rino Gaetano in questo ultimo anno, sarà che prima ascolta-vo altra musica, sarà che i suoi testi sono sempre molto sottili e per apprezzarli bisogna conoscere il contesto storico. Ad esempio in “Glu glu” parla con un ritmo scherzoso del suicidio e poi si ricollega ad eventi di quegli anni – la canzone venne pubblicata nell'album “Mio fratello è figlio unico” nel 1976 – ad esempio un aereo della Lufthansa per Francoforte e dirottato, nel 1972, da un gruppo integralista palestinese.

***Immagino però che tu voglia richiamare qualche concetto scientifico partendo dall'esquimese...***

Ormai Donatella sei diventata bravissima, dopo anni di attività conosci il GDS come se fosse tuo figlio. In effetti voglio collegarmi all'igloo o, meglio, al ghiaccio.

***Il ghiaccio è acqua!***

Sì, il ghiaccio è fatto di acqua, più precisamente il ghiaccio è la forma solida dell'acqua, la quale esiste anche nel suo stato più conosciuto ed utilizzato, quello liquido, e quello aeriforme, il vapor acqueo. Il ghiaccio quindi si forma per congelamento dell'acqua da 0°C, quindi persiste da questa temperatura in giù. Questo vale però se ci poniamo in condizioni di pressione standard, ovvero una atmosfera (= 1 atm); quando l'acqua liquida passa a solida si dice che si è in presenza di una transizione di fase.

***Tutto chiaro, hai però fissato una condizione al contorno precisa, 1 atm.***

Questo si rende necessario in quanto se cambia la pressione, cambia anche la temperatura di transizione di fase. Due sono le condizioni possibili: a pressione superiore a quella standard l'acqua

rimane liquida anche per temperature inferiori allo 0; si parla di sopraffusione. A pressioni inferiori, invece, il ghiaccio può resistere a temperature superiori allo 0. In virtù di questa proprietà esistono 15 differenti tipi di ghiaccio, corrispondenti alle forme di cristallizzazione e di stabilità. Addirittura esiste una condizione in cui coesistono la fase liquida, quella solida e quella aeriforme.

***Ma dai, questa proprio non la sapevo.***

Eh già! Alla temperatura di 273,16 K, che nella scala Celsius corrisponde allo 0,01°, e alla pressione di 0,006 atm (quindi in condizioni di “vuoto”) i tre stati di aggregazione dell'acqua coesistono. Questo punto è detto “punto triplo dell'acqua” e corrisponde al punto in cui si incontrano le tre linee del diagramma di stato, che corrispondono alle tre zone di confine tra solido/liquido, liquido/aeriforme ed aeriforme/solido.

***Il punto triplo esiste solo per l'acqua?***

No, il punto triplo esiste per molte sostanze, ad esempio azoto, alcool etilico, mercurio. Ma interessante è che per l'acqua, dato che prima abbiamo detto che esistono più forme solide, esistono più punti tripli, non necessariamente solido/liquido/aeriforme, ma anche solido/solido/liquido o, perché no, solido/solido/solido.

***Insomma l'acqua, un composto chimico molto semplice, dato che la formula è H<sub>2</sub>O, ha delle caratteristiche molto particolari.***

Dici proprio bene, ha delle proprietà molto particolari, ma soprattutto importanti per lo sviluppo della vita sulla Terra. Se ci pensi bene l'acqua è liquida in un gran range di temperatura, da 0 a 100°C, quindi nelle condizioni di insolazione della Terra. Su altri pianeti o è evaporata completamente per il troppo caldo, oppure è completamente congelata per il troppo freddo; sulla Terra questo composto ben si concilia con le condizioni dovute alla sua posizione nel sistema solare.

***Visto che hai citato il ghiaccio, come mai questo galleggia nell'acqua.***

Questa è un'altra peculiarità dell'acqua e per rispondere alla tua domanda dobbiamo scomodare la geometria molecolare. L'acqua, composta da un atomo di ossigeno e due di idrogeno è strutturata dimensionalmente così: l'atomo di ossigeno si trova al centro di una piramide che lega i due idrogeni che si trovano sui due vertici adiacenti della piramide. L'angolo formato tra i due legami O-H è di 104,5°. L'acqua allo stato liquido è formata da queste “piramidi” che si muovono ed interagiscono attraverso i legami ad idrogeno che si formano tra un atomo di ossigeno di una molecola e gli atomi di idrogeno di altre molecole. Quando la temperatura scende, le molecole rallentano il moto e la densità aumenta fino a 4°C; sotto i 4°C le molecole sono ancora più ferme, sicché i legami ad idrogeno diventano talmente forti che bloccano definitivamente le molecole in strutture esagonali. Questo processo si completa a 0°C e le piramidi bloccate in una struttura esagonale occupano più spazio che non a 4°C, quando erano più disordinate, ma più compatte. A parità di peso quindi, occupando più volume a 0°C che non ha 4°C, il ghiaccio è meno denso e galleggia.

***Credo che questo sia legato allo sviluppo della vita sulla Terra.***

Direi di sì! Difatti, poiché il ghiaccio rimane in superficie, blocca i moti convettivi dal fondo verso l'altro, conservando l'acqua un po' più calda e permettendo la vita d'inverno. Approssimativamente il ghiaccio è circa l'8% meno denso dell'acqua liquida. Ma tu pensa che la dipendenza del

punto di solidificazione dalla pressione ci permette di pattinare!

### ***Ah, spiegati meglio...***

Quando pattiniamo tutto il nostro peso è sorretto dalla lama del pattino, quindi da una superficie molto piccola. La pressione è definita come la forza, in questo caso la forza peso, divisa per la superficie; essendo la superficie molto piccola, la pressione è molto elevata. Per quanto detto prima, l'acqua può rimanere liquida anche per temperature sotto lo 0, a patto che la pressione sia molto elevata e queste condizioni sono realizzate sotto la lamina del pattino. Si crea quindi uno strato infinitesimale di acqua che ci permette di scivolare. L'attrito viscoso che si forma e che rallenta il moto è molto inferiore rispetto all'attrito radente che si avrebbe tra due superfici solide come ghiaccio ed acciaio della lama. Questa è un'approssimazione che non dice tutto, ma dà l'idea.

### ***Quali fattori abbiamo trascurato?***

Principalmente due: l'attrito viscoso per quanto poco crea calore, che scioglie ulteriore acqua e che facilita il moto; le molecole di acqua vicine alla superficie, non avendo delle vicine legate, sono più mobili di quelle interne bloccate nella struttura esagonale.

### ***Della brina cosa ci racconti?***

Abbiamo sempre detto finora che il ghiaccio si forma per solidificazione dell'acqua, ma può benissimo formarsi per passaggio diretto dallo stato aeriforme a quello solido. Questo passaggio si chiama brinamento ed avviene per solidificazione del vapor acqueo sugli oggetti freddi a temperature inferiori allo 0.

### ***La brina e il ghiaccio sono spesso bianchi e non trasparenti, perché?***

Il fenomeno è dovuto all'intrappolamento di molecole di acqua sotto forma di aeriforme. Intrappolando quindi aria, la brina avrà una densità inferiore a quella del ghiaccio puro, nello specifico circa un quarto. Quindi la brina se così si può dire, "galleggerebbe" sul ghiaccio.

### ***E la galaverna?***

Questa si forma per solidificazione della gocce di acqua nella nebbia, quindi dello stato liquido, sugli oggetti freddi sotto lo 0.

### ***Scusami Fabiano, un'ultima curiosità, cos'è il ghiaccio secco?***

Il ghiaccio secco è il nome volgare o comune per la forma solida dell'anidride carbonica.

# Lo strano caso del prof. Beringer

Dott. Manolo Piat

---

Titolo: ***Just an illusion***

Autore: *Imagination*

Album: *In the Heat of the Night*

Anno di pubblicazione: 1982

Durata: 3' 54"

---

*Searching for a destiny that's mine  
There's another place another time.  
Touching many hearts along the way yeah  
Hoping that I'll never have to say*

*It's just an illusion, illusion, illusion.*

*Follow your emotions anywhere  
Is it really magic in the air?  
Never let your feelings get you down.  
Open up your eyes and look around*

*It's just an illusion, illusion, illusion.*

*Could it be that it's just an illusion  
Putting me back in all this confusion?  
Could it be that it's just an illusion now?*

*Could it be that it's just an illusion  
Putting me back in all this confusion?  
Could it be that it's just an illusion now?*

*Could it be a picture in my mind?  
Never sure exactly what I'll find.  
Only in my dreams I turn you on.  
Here for just a moment then you're gone.*

*It's just an illusion, illusion, illusion.  
Could it be that it's just an illusion  
Putting me back in all this confusion ?  
Could it be that it's just an illusion now ?  
Could it be that it's just an illusion  
Putting me back in all this confusion ?  
Could it be that it's just an illusion now ?*

## ***Buongiorno e ben trovato Manolo, iniziamo oggi con la disco music!***

Buongiorno Donatella, la canzone è “Just an illusion”, del 1982, il più grande successo degli Imagination e uno dei brani cult degli anni '80. Gli Imagination sono stati un gruppo soul e dance inglese che ha vinto 4 dischi di platino, 9 d'oro e oltre una dozzina di dischi d'argento in tutto il mondo tra il 1981 ed il 1983. Il trio si esibiva frequentemente nei programmi pop delle televisioni di tutta Europa con uno stile esotico fatto di costumi ripresi dagli antichi Romani e dall'oriente fiabesco. Altro particolare della band era il gusto esoterico delle note di copertina.

## ***E come si collega questo brano con la scienza?***

La canzone ci porta all'argomento di questa puntata, la storia del professor Beringer e delle sue “pietre mentitrici” o “Lügenstein”: uno dei più famosi errori nella storia della paleontologia, causato proprio da un'illusione, quella di aver fatto una scoperta straordinaria.

## ***Cosa ci puoi raccontare a riguardo?***

Torniamo nel 1725, lo stesso anno in cui venne alla luce lo scheletro studiato da Scheuchzer



di cui parlavamo la volta scorsa; nella città di Würzburg, in Baviera, in una mattina di maggio tre giovani del luogo si presentarono all'ingresso dell'università e chiesero del professor Johann Bartholomäus Adam Beringer (1667-1738), decano della facoltà di medicina e medico personale del principe vescovo. Ammessi alla sua presenza, gli mostrarono alcune piccole pietre che avevano trovato in una cava, nei pressi della città. Beringer esaminò le pietre e le trovò subito di grandissimo interesse; si fece, perciò, accompagnare alla cava, la esplorò e vi scoprì subito altri fossili, bellissimi e incredibili, tanto che fu preso dall'entusiasmo della ricerca.

### ***Cosa avevano di straordinario questi reperti?***

A seguito dei diligenti scavi intrapresi da Beringer, vennero alla luce le pietrificazioni più sconcertanti. I frammenti di roccia mostravano, nettamente scolpiti, vermi, scorpioni, insetti, serpenti, esseri simili a granchi, ma con quattordici zampe e, addirittura, api in volo intorno ai fiori. Alcuni frammenti riportavano oggetti singoli, su altri c'erano curiose associazioni di lucertole, uova, conchiglie, farfalle. Ma ciò era nulla in confronto a quanto si rivelò in seguito; perché comparvero altre lastre con figurazioni di stelle, di comete, del Sole e, infine, iscrizioni in lettere ebraiche.

### ***E quale fu la reazione dello studioso di fronte a queste scoperte?***

L'entusiasmo di Beringer salì alle stelle. Iniziò quindi a descrivere e preparare le tavole della scoperta fin da subito e pubblicò un'anteprima del suo lavoro in ottobre. Alle critiche sull'autenticità delle pietre replicava con la testimonianza oculare dei ritrovamenti, inoltre confermava che per lui le pietre erano oggetti naturali, ma non necessariamente vere fossilizzazioni di organismi. Nel 1726 pubblicò una monografia dal titolo "Lithographia Wirceburgensis" ("Raffigurazione delle pietre di Würzburg"), completa della dettagliata descrizione dei reperti e di 21 tavole raffiguranti centinaia di queste rocce. Nel primo capitolo proponeva varie possibilità di formazione delle pietre, tutte accantonate in favore dell'intervento divino (il lavoro fu anche dedicato al vescovo) e affermava che le pietre differivano dai fossili normalmente trovati nel Muschelkalk. Inoltre gli evidenti segni d'incisione (!) sulle pietre erano solo le tracce che il potere di Dio aveva lasciato nel creare queste figure. Sorprendentemente, Beringer considerava che i fossili non potessero essere i resti del diluvio biblico, poiché l'impronta di una ghianda indicava che era il periodo dell'anno sbagliato!

### ***Cosa avvenne dopo la pubblicazione della sua monografia?***

A questo punto l'inganno fu scoperto. Si dice che Beringer stesso se ne sia reso conto trovando una pietra con la scritta *Vivat Beringerius* (Viva Beringer). I giovani che gli avevano consegnato le prime pietre ammisero che le rocce erano una frode, messa in atto da due colleghi del decano, il matematico Jean Ignace Roderique (1697-1756) e il bibliotecario Johann Georg von Eckhardt (1664-1730), che avevano fabbricato i falsi fossili proprio perché Beringer, pubblicandone la notizia, si coprisse di ridicolo e si trovasse così costretto a lasciare l'università. In altre versioni della storia si trattò solo di uno scherzo da studenti, del tentativo di Roderique di eliminare il suo concorrente in amore o, ancora, fu un vasaio a fabbricare le rocce con l'argilla solo per divertimento.

### ***Come si è conclusa questa vicenda?***

La leggenda narra che Beringer passò il resto della vita riacquistando tutte le copie stampate e distruggendo le matrici delle tavole, ma la sua reputazione era ormai irrimediabilmente persa e questo lo condusse a morte prematura. I fatti però sono un po' differenti. Beringer, infatti, citò in giudizio con successo i due istigatori e riguadagnò la sua integrità professionale; a dispetto di quan-

to raccontato, egli visse ancora 14 anni e pubblicò altri libri, anche se non più di storia naturale. In definitiva, egli non soffrì alcuno svantaggio dallo scandalo, al contrario. Tant'è vero che nasce anche il sospetto che proprio Beringer potesse essere il vero responsabile: egli non fece nulla per prevenire la pubblicazione della "Lithographia" dopo le prime rivendicazioni di frode (come dimostra il Capitolo XII, Beringer era ben consapevole di questa possibilità prima di andare in stampa), forse perché lui era il solo a conoscere esattamente l'autore.

### ***E quale fu la sorte dei suoi avversari?***

Von Eckhardt morì quattro anni più tardi, ma il suo ruolo nella questione non venne mai provato in nessun modo. Roderick lasciò Würzburg nel 1730 di sua spontanea volontà, lo "scandalo" non ebbe alcun tipo di influenza sulla sua carriera. Per altro Roderique arrivò a Würzburg solo durante l'inverno 1725-26, quindi non poteva essere incriminato per la prima generazione di pietre, scoperte nel 1725. E non corrisponde al vero nemmeno il fatto che fu costretto a lasciare la città, ricoperto dal disonore.

### ***Cosa ci è rimasto oggi dell'opera di Beringer?***

Oggi sopravvivono 343 pietre e 494 sono raffigurate nella "Lithographia"; Beringer ne rivendicava in suo possesso oltre 2.000, ma è più ragionevole assumere che il loro numero fosse compreso tra 600 e 1.100, considerando il breve periodo dei "ritrovamenti". Nel 1767 una seconda edizione della Lithographia venne pubblicata con le tavole originarie (non più toccate dall'autore) della prima edizione. La cosa certa è che Beringer è divenuto simbolo di ingenuità e, troppo spesso, oggetto di scherno nei circoli accademici. Ma forse lo consolerebbe sapere che le rare copie oggi esistenti del suo libro sono valutate oltre 10.000 \$: un bel po' di soldi, per una semplice illusione...!

# La radioattività

Dott. Alex Casanova

---

Titolo: **Radioactivity + Geiger Counter**

Autore: *Kraftwerk*

Album: *Radio-Activity*

Anno di pubblicazione: 1975

Durata: 7' 43"

---

*RADIOACTIVITY*

*Tschernobyl, Harrisburgh, Sellafield, Hiroshima*

*Tschernobyl, Harrisburgh, Sellafield, Hiroshima*

*Stop radioactivity*

*Is in the air for you and me*

*Stop radioactivity*

*Discovered by Madame Curie*

*Chain reaction and mutation, contaminated population*

*Stop radioactivity*

*Is in the air for you and me*

*Morse:*

*Radioactivity is in the air for you and me*

*Radioactivity discovered by madame Curie*

*Radioactivity is in the air for you and me*

*Stop radioactivity*

*RADIOACTIVITY*

*RADIOACTIVITY*

*Tschernobyl, Harrisburgh, Sellafield, Hiroshima*

*Tschernobyl, Harrisburgh, Sellafield, Hiroshima*

*Stop radioactivity*

*Is in the air for you and me*

*Stop radioactivity*

*Discovered by Madame Curie*

*Chain reaction and mutation, contaminated population*

*Stop radioactivity*

*Is in the air for you and me*

## ***Oggi, Alex, ci porti indietro nel tempo con un brano molto particolare...***

Oggi torniamo indietro al 1975 con un brano di un gruppo decisamente pionieristico, un gruppo che viene considerato fra i padri della musica elettronica, aperto a nuove sperimentazioni. Sono i Kraftwerk, che spero di pronunciare bene visto che sono un gruppo tedesco nato a Dusseldorf nel 1970; il nome significa “centrale elettrica” e suggerisce il loro interesse per la fisica e la tecnologia.

## ***E del brano in questione cosa mi dici?***

Il brano è tratto dal quinto album della band elettropop tedesca: canzone e album si intitolano “Radio-Activity”, cioè radioattività e si tratta di un concept album incentrato su due argomenti: lo sfruttamento dell'energia nucleare da un lato e l'utilizzo delle comunicazioni radio dall'altro.

## ***Se non ho capito male, nel testo troviamo riferimenti a Chernobyl e ad Hiroshima...***

Sì Donatella nel testo i Kraftwerk fanno riferimenti a questi avvenimenti tragici. C'è da dire una cosa: il riferimento a Chernobyl è stato aggiunto dai Kraftwerk in un secondo momento, in oc-

casione di una ristampa dei loro brani più famosi. In quell'occasione il testo del brano è stato modificato in modo tale da concentrarsi solo sul tema dell'energia nucleare e del suo sfruttamento. La posizione dei Kraftwerk è chiara e ripetuta con forza: cantano “stop radioactivity”, basta con le centrali nucleari, citando per questo gli incidenti di Chernobyl (che ben conosciamo), Harrisburgh (Three Mile Island, 1979) e Sellafield (Inghilterra, 1957 e 1973).

### ***I Kraftwerk parlano di radioattività, anzi parlano di “radioattività nell'aria”... ecco, vuoi spiegarci che cos'è la radioattività?***

La radioattività è un fenomeno naturale che coinvolge determinate sostanze che tendono spontaneamente a decadere, cioè a trasformarsi, senza aiuti dall'esterno, in altri elementi. La radioattività è un fenomeno legato all'instabilità di queste sostanze, che trasformandosi emettono radiazione e particelle. Le sostanze radioattive, in funzione delle loro caratteristiche e delle loro proprietà, possono emettere fotoni, cioè radiazione elettromagnetica, elettroni, i cosiddetti raggi beta prodotti dal decadimento beta, oppure nuclei di elio, i cosiddetti raggi alfa prodotti dal decadimento alfa.

### ***Da cosa dipende questa instabilità?***

Per parlare dell'instabilità delle sostanze radioattive bisogna entrare nell'atomo e guardare il nucleo. Il nucleo degli atomi è costituito da due particelle: il protone e il neutrone. Hanno circa la stessa massa, ma mentre il protone ha una carica elettrica positiva, il neutrone, come suggerisce il nome, non ha carica elettrica, è neutro. Ora, i nuclei delle sostanze naturali sono formati da diversi protoni e diversi neutroni, secondo proporzioni differenti. C'è un problema: particelle con la stessa carica tendono a respingersi, quindi i protoni presenti nel nucleo si respingono rendendo la struttura instabile. I neutroni servono proprio da colla, rendendo l'edificio nucleare stabile. Tuttavia, ci sono dei casi in cui neutroni e protoni non sono nel giusto numero e il nucleo risulta così instabile.

### ***Prima parlavi di raggi alfa e raggi beta. Qual è la differenza?***

I raggi alfa sono nuclei di elio, cioè particelle formate da due protoni e due neutroni. I raggi beta sono elettroni. I raggi alfa sono prodotti nel decadimento che coinvolge i nuclei più pesanti, con un grande numero di neutroni e protoni, che emettono particelle alfa per raggiungere configurazioni più stabili. I raggi beta sono invece il prodotto del decadimento beta che contraddistingue i nuclei con un eccesso di neutroni. In questo caso è energeticamente vantaggiosa la trasformazione di un neutrone in un protone con l'emissione di un elettrone e di un neutrino.

### ***La canzone che abbiamo ascoltato ha un inizio particolare con un motivo che si ripete anche nel corso del brano...***

In realtà l'inizio del brano che abbiamo ascoltato costituisce un'introduzione non solo alla canzone, ma anche all'intero album e ha un suo titolo: si tratta di “Geiger Counter”, contatore Geiger. Il brano inizia con dei colpi la cui frequenza aumenta progressivamente fino all'inizio vero e proprio della canzone; questi colpi riproducono il tipico rumore di un contatore Geiger.

### ***Ecco, cos'è un contatore Geiger?***

Il contatore Geiger è un strumento di misura in grado di captare le radiazioni ionizzanti prodotte, per esempio, durante i decadimenti alfa o beta di cui abbiamo parlato prima. Per avere un'idea generale, un contatore Geiger è costituito da un tubo contenente del gas rarefatto a bassa pres-

sione. Al suo interno si trova un filo metallico collegato al tubo in modo tale da produrre una differenza di potenziale. Quando la radiazione attraversa il tubo, urta contro le molecole del gas ionizzandole, cioè producendo coppie elettrone-ione. Queste coppie vengono accelerate dalla differenza di potenziale producendo un segnale elettrico che può essere utilizzato per “contare” i raggi che attraversano il tubo; il ticchettio tipico di questo strumento di misura è proporzionale proprio a questi conteggi.

***Rimanendo sul testo della canzone, prendo un'altra citazione: radioattività “scoperta da Madame Curie”. Per prima cosa ti chiederei due parole su Madame Curie...***

Madame Curie è una delle donne di scienza più note al mondo; si tratta di Maria Skłodowska, nata a Varsavia il 7 novembre 1867. Di origine polacca, si trasferì a Parigi nel 1891; bisogna ricordare che nella Polonia della seconda metà dell'ottocento, sotto il controllo russo, le donne non erano ammesse agli studi superiori. Arrivata in Francia si iscrisse alla Sorbona, dove si laureò in fisica e in matematica. La sua carriera fu caratterizzata da grandi successi e numerosi primati: forse il più evidente è quello di aver vinto ben due premi Nobel: il primo per la fisica nel 1903, il secondo per la chimica nel 1911. Inoltre, fu la prima donna ad ottenere una cattedra, quella di Fisica Generale, alla prestigiosa Sorbona di Parigi dove aveva studiato. Morì il 4 luglio del 1934 e le sue spoglie si trovano ora nel Pantheon di Parigi.

***La seconda cosa che vorrei chiederti è se i Kraftwerk avevano ragione nell'attribuirgli la scoperta della radioattività...***

Sì, sostanzialmente i Kraftwerk avevano ragione. Ad essere precisi la radioattività è stata scoperta nel 1896 da Henri Becquerel che si accorse che i sali d'uranio emettevano radiazione in modo spontaneo, senza alcuna eccitazione esterna; aspetto quest'ultimo che all'epoca colpiva molto. Non si riusciva a capire da dove l'uranio potesse ricavare l'energia per produrre questi misteriosi raggi che lo stesso Becquerel chiamava genericamente “uranici”. Due anni più tardi, nel 1898, Marie e suo marito, Pierre Curie, scoprirono due nuovi elementi chimici, il radio ed il polonio e pubblicarono un articolo dove per la prima volta compariva l'espressione “sostanze radioattive”. Possiamo quindi dire che Madame Curie è stata certamente fra i pionieri degli studi sulla radioattività.

***Da allora ne è passata di acqua sotto i ponti...?!***

Decisamente sì; all'epoca di Curie le conoscenze sull'atomo erano ancora limitate e non si sapeva nulla sull'esistenza di un nucleo, dei protoni e dei neutroni. I primi decenni del 1900 furono caratterizzati da numerose scoperte sia in campo sperimentale che in campo teorico. Tutti questi successi scientifici permisero di comprendere sempre meglio la natura dei fenomeni radioattivi legandoli alla struttura e all'instabilità del nucleo atomico. E con la comprensione sempre più approfondita del nucleo si è arrivati allo sfruttamento dell'energia nucleare o a derive come la bomba atomica. I Kraftwerk giustamente cantano come la radiazione sia nell'aria (siamo sempre immersi in un fondo naturale di radioattività prodotta, per esempio, da isotopi radioattivi presenti nella crosta terrestre) e altrettanto giustamente sono contro quelle derive incontrollate del sapere scientifico.

# Crittografia

Ing. Paolo Alessandrini

---

Titolo: **X&Y**

Autore: *Coldplay*

Album: *X&Y*

Anno di pubblicazione: 2005

Durata: 4' 31"

---

*Trying hard to speak and  
Fighting with my weak hand  
Driven to distraction  
It's all part of the plan  
When something is broken  
And you try to fix it  
Trying to repair it any way you can.*

*I dive in at the deep end  
You become my best friend  
I wanna love you but I don't know if I can  
I know something is broken  
And I'm trying to fix it  
Trying to repair it any way I can.*

*You and me are floating on a tidal wave  
Together.*

*You and me are drifting into outer space  
And singing.*

*You and me are floating on a tidal wave  
Together.*

*You and me are drifting into outer space.*

*You and me are floating on a tidal wave  
Together.*

*You and me are drifting into outer space  
And singing.*

## ***Stavolta si comincia con i Coldplay...***

Sì, abbiamo iniziato con questo gruppo pop-rock inglese, formatosi nel 1997, divenuto famoso nel 2000 grazie all'album "Parachutes", e consacratosi internazionalmente nel 2002 con il disco "A Rush of Blood to the Head". Nel giugno del 2005 gli scaffali dei negozi di dischi si riempirono con le copie del nuovo album dei Coldplay, da cui è tratta la canzone che abbiamo appena ascoltato.

## ***Se non sbaglio, il brano è quello che dà il titolo all'intero album...***

Esatto, il titolo è "X&Y": piuttosto misterioso, enigmatico... Se i fans rimasero sorpresi da questo titolo, credo che rimasero ancora più sbalorditi e sconcertati da un'altra particolarità del disco: la copertina.

## ***Perché, cosa aveva di strano la copertina?***

L'immagine di copertina di quel disco era formata da strani rettangoli colorati distribuiti in una configurazione apparentemente insensata. Ed è proprio questa immagine a fornirci lo spunto scientifico per questa puntata di "Note di scienza".

## ***Ah sì? E cosa c'è di scientifico in questa copertina?***

Sulle prime, qualcuno pensò a qualche misterioso ed esoterico messaggio o a qualche clamo-

rosa rivelazione in codice. Effettivamente, quei rettangoli contengono un vero messaggio in codice, per cui la copertina del disco dei Coldplay ci offre l'opportunità per parlare un po' di codifica delle informazioni, cioè dello studio dei modi di rappresentare un messaggio attraverso una sequenza di simboli.

### ***A che scopo vengono codificati i messaggi?***

Si tratta essenzialmente di un'esigenza legata alle tecnologie delle telecomunicazioni. Qualsiasi informazione che debba essere trasmessa a distanza, ad esempio questa trasmissione radiofonica che viene diffusa dalle antenne di Radio Belluno e raggiunge le radio dei nostri ascoltatori, deve essere codificata, cioè trasformata in una sequenza di simboli convenzionali che possono così essere inviati in modo affidabile ed efficiente attraverso i canali di comunicazione, ad esempio impacchettati in onde elettromagnetiche.

### ***Potresti fare qualche altro esempio di tecnologia di codifica delle informazioni?***

Beh, l'esempio forse più famoso di codice è il codice Morse, che veniva utilizzato nei primi tempi della telegrafia: ad ogni lettera dell'alfabeto corrispondeva una sequenza di punti e linee e il messaggio complessivo da trasmettere veniva quindi trasformato in una lunga serie di punti e linee che, opportunamente trasmessa attraverso un sistema telegrafico basato su fili elettrici, rappresentava il messaggio in codice.

### ***La codifica delle informazioni potrebbe essere usata per rendere più sicure le comunicazioni?***

Certo. In effetti un particolare ramo della tecnologia della codifica delle informazioni è quella che chiamiamo crittografia: una materia che, lungo tutto il corso della storia, ha rivestito una enorme importanza, soprattutto in relazione alle esigenze strategiche e belliche. Si tratta dello studio dei metodi che possono essere usati per codificare un messaggio in modo tale che possa essere decifrato soltanto dal reale destinatario e risulti invece incomprensibile a tutte le altre persone.

### ***Hai detto "Lungo tutto il corso della storia": ma la crittografia è così antica?***

Sì, è davvero un'arte molto antica. Perfino nella Bibbia ci sono tracce di un antichissimo cifrario ebraico, chiamato *atbash*, che funzionava in modo molto rudimentale: la prima lettera dell'alfabeto veniva sostituita con l'ultima, la seconda con la penultima, e così via, in modo da camuffare i messaggi importanti e impedire che potessero cadere in mano ai nemici. Anche gli Spartani, popolo notoriamente bellicoso, per trasmettere messaggi segreti usavano una particolare bacchetta chiamata *scitàla*: scrivevano il messaggio su una sottile striscia di pelle arrotolata molte volte attorno alla *scitàla*; una volta srotolata la striscia di pelle, ovviamente il messaggio diventava impossibile da leggere. Solo chi aveva una bacchetta dalle dimensioni identiche a quella del mittente poteva arrotolare la striscia di pelle sulla propria *scitàla* e, ricostruendo la posizione originaria di ogni lettera, poteva leggere il messaggio. Lo stesso Giulio Cesare aveva inventato un cifrario per proteggere i propri messaggi segreti: ogni lettera del messaggio veniva sostituita dalla lettera che si trova nell'alfabeto un certo numero di posizioni dopo la lettera originaria. Ad esempio, la lettera A veniva sostituita dalla lettera D, la B dalla E, e così via.

### ***Oggi questi cifrari forse fanno un po' sorridere...***

Eh sì, oggi il cifrario di Cesare, così come l'*atbash* e la *scitála* spartana sono considerati metodi crittografici molto ingenui e rozzi e se un messaggio venisse crittato con questi sistemi sarebbe immediatamente decifrato anche dal più mediocre dei crittoanalisti. Nel nono secolo d.C., gli Arabi scoprirono che i cifrari antichi come quello di Cesare, basati sulla cosiddetta sostituzione monoalfabetica, potevano essere violati considerando che in ogni lingua ci sono lettere più frequenti e altre molto meno frequenti. Ad esempio, nei testi italiani la A e la E sono le lettere più frequenti, mentre la Q e la Z sono le più rare; servendosi di una tabella completa delle frequenze delle lettere, i cifrari antichi possono essere decifrati molto facilmente. Per sviluppare nuove tecniche crittografiche meno vulnerabili, quindi, gli stessi Arabi inventarono cifrari più evoluti, detti polialfabetici, che vennero poi perfezionati nel Quattrocento soprattutto dall'architetto e umanista Leon Battista Alberti. In tempi più recenti, molti famosi casi di spionaggio ebbero a che fare con la crittografia: ad esempio la vicenda della celebre spia Mata Hari e l'affare Dreyfus in Francia.

### ***La crittografia ha avuto un ruolo importante durante la seconda guerra mondiale?***

Certamente. Parlando di crittografia durante la seconda guerra mondiale non si può non parlare di Enigma, la complicatissima macchina elettro-meccanica utilizzata dai nazisti per cifrare i propri messaggi segreti. Enigma, inizialmente considerata impenetrabile e tuttavia violata una prima volta nel 1932 dai servizi segreti polacchi guidati da Marian Rejewski e una seconda volta dieci anni dopo, in pieno conflitto mondiale, da un team di crittoanalisti inglesi capitanati dal grande matematico Alan Turing, padre dell'informatica moderna e dell'intelligenza artificiale. Dopo la fine della guerra, la crittografia fece passi da gigante: le due pietre miliari furono nel 1948 gli studi teorici di Claude Shannon sulla teoria dell'informazione e negli anni Settanta la nascita dei sistemi di crittografia a chiave pubblica, che oggi garantiscono la sicurezza delle transazioni su Internet.

### ***Torniamo al codice rappresentato sulla copertina dei Coldplay...***

Su quella copertina, dicevamo, ci sono degli strani rettangoli che rappresentano un messaggio in codice. In particolare, i rettangoli colorati della copertina possono essere facilmente decifrati secondo un particolare codice utilizzato molti anni fa nelle telescriventi, abbastanza simile al codice Morse di cui parlavamo prima, e inventato nel 1874 dall'ingegnere francese Emile Baudot.

### ***Quindi non si tratta di crittografia in questo caso...***

No, in questo caso le informazioni venivano codificate per esigenze di trasmissione, non per essere in qualche modo cifrate e quindi nascoste a persone diverse dal reale destinatario. Quindi non si può parlare di crittografia, ma di semplice codifica delle informazioni. In questo sistema Baudot, i caratteri sono divisi in due categorie: lettere e simboli. Ad esempio, la A e la Z sono considerate lettere, mentre tra i simboli troviamo le cifre numeriche, i segni di punteggiatura, le parentesi, e così via. Ogni lettera corrisponde ad una combinazione di cinque cifre binarie e la stessa cosa avviene per i simboli. Normalmente i caratteri venivano interpretati come lettere e per indicare che il successivo carattere doveva essere invece interpretato come figura, veniva premesso la combinazione speciale "11011"; invece, la combinazione 11111 indicava il ritorno alle lettere.



### ***E alla luce di questo sistema, il messaggio del disco cosa significava?***

Lasciando perdere i colori dei rettangoli, che non sono essenziali per decifrare il messaggio, si ottiene una specie di matrice con quattro colonne e cinque righe. Ora, se interpretiamo come degli uno i rettangoli “pieni” e come zeri i rettangoli “vuoti”, otteniamo tre cinquine di cifre binarie, che corrispondono al messaggio “X9Y”.

### ***Sembrerebbe il titolo del disco, che è “X&Y”. Ma c’è un 9 al posto della &! Come mai?***

Già. Probabilmente l’intenzione dei Coldplay era quella di celare lo stesso titolo dell’album dietro lo strano messaggio in codice nella copertina. Ma evidentemente qualcosa dev’essere andato storto, perché, come hai detto giustamente, il secondo carattere doveva essere una & e non un 9. Infatti, nel sistema Baudot il carattere “&” è codificato dalla sequenza “01011”, mentre nel reticolo della copertina troviamo la sequenza “00011”, che corrisponde a “9”.

### ***Forse un banale refuso, quindi? Oppure un finto errore intenzionale?***

Chissà. Forse qualche grafico distratto ha commesso un errore di un bit nella preparazione dell’immagine di copertina; o forse, se vogliamo seguire un’ipotesi per così dire “complottoista”, l’errore è stato voluto, per introdurre un motivo in più di discussione tra i fan più “matematici”. In ogni caso ....

# Gli esplosivi

Dott. Fabiano Nart

---

Titolo: ***Explode***

Autore: *The Cardigans*

Album: *Gran Turismo*

Anno di pubblicazione: 1998

Durata: 4' 06"

---

*Ease your trouble*

*we'll pay them double*

*not to look at you for a while*

*And you rely on*

*what you get high on*

*and you last just as long as it serves you*

*Explode or implode*

*explode or implode*

*we will take care of it*

*yes, we will carry you*

*'cause you're deserted*

*what's good, you hurt it*

*and it kills you it keeps you alive*

*so give it up*

*in a world of puppets*

*It's a shame what they do to us all*

*can we do anything for you now?*

***Oggi ci proponi i Cardigans con la canzone "Explode". Tu sei un chimico e ricordo che preparasti una conferenza sulla chimica degli esplosivi, per cui vai a nozze con questa canzone!***

Dici bene, preparai questa presentazione per il Dolomiti in Scienza 2012. Devo dire che pensai molto se prepararla o meno, visto il tema che scotta, ma alla fine mi decisi per questo argomento, perché il GDS fa divulgazione scientifica e gli esplosivi sono qualcosa che affascina molto; difatti ci fu la sala piena, e molti giovani, guarda che caso...

***Direi di iniziare questa chiacchierata chiedendoti cos'è un'esplosione.***

Per rispondere a questa domanda prendo l'esempio del vulcano Krakatoa, che si trova in Indonesia e che nel 1883 in una esplosione violentissima provocò un boato udibile a 5000 km di distanza. Il boato fu creato dall'evaporazione istantanea di circa 3 miglia cubiche di acqua, vaporizzate istantaneamente perché entrate in contatto con la lava.

***Con questo quindi vuoi dirci che un'esplosione non è necessariamente legata alla chimica?***

Proprio questo, sì! Si distinguono difatti tre tipologie di esplosione. Esplosione fisica, legata alla trasformazione dello stato fisico di aggregazione della materia, l'esempio del Krakatoa con acqua liquida che passa ad aeriforme. Esplosione nucleare, dove intervengono le trasformazioni del nucleo, quella di Chernobyl ne è un esempio. Abbiamo poi l'esplosione chimica, legata alla trasformazione della chimica dei composti, quindi composti chimici che reagiscono tra di loro o si decompongono per formarne di nuovi. Oggi parliamo delle esplosioni chimiche.

### ***Possiamo dare però una definizione generale di esplosione?***

Sì, possiamo farlo, indipendentemente dal tipo di esplosione. Per esplosione si intende la liberazione improvvisa di un grande accumulo locale di energia

### ***Mentre un esplosivo, fammi dire “chimico”, come tutti intendiamo, come viene definito?***

Ci sono varie definizioni di esplosivo, in funzione delle epoche e degli autori, io ne considero tre come principali in quanto tutte dicono cose caratteristiche, ma nessuna le dice tutte insieme. Se dovessi fare un sunto delle tre definizioni e dartene una, direi che un esplosivo è una sostanza chimica in grado di subire una trasformazione esotermica rapidamente e quindi di liberare la propria energia.

### ***Hai detto esotermica, quindi liberazione di calore.***

È giusto. Le esplosioni possono anche richiedere uno spunto iniziale, il detonatore per capirci, quindi consumano energia, ma poi quella che liberano è molta di più, quindi abbiamo un bilancio positivo. Questa gran quantità di energia si traduce in espansione dei gas di reazione, quindi aumento repentino del volume, ed in calore emesso nell'ambiente esterno. Proprio il prodotto tra il calore ed il volume è uno dei modi di definire il potenziale esplosivo.

### ***Quando avviene l'esplosione che tipo di reazione chimica avviene?***

Generalmente un'esplosione è definita come una banale reazione di combustione, come quella che avviene nelle nostre caldaie dove l'ossigeno, che è il comburente, brucia il metano, che è il combustibile. La differenza tra una combustione pura ed un'esplosione è che nella combustione l'ossigeno è preso dall'aria, nell'esplosione è presente nella formulazione chimica. La combustione è un processo lento e subsonico, l'esplosione molto più veloce, circa 2.000 volte e può diventare supersonico. Un esempio di esplosione “benigna” è lo Shuttle che spicca il volo.

### ***Ah, quindi quello che noi vediamo uscire dagli scarichi dei razzi dello Shuttle è il frutto di un'esplosione.***

Esatto, è il prodotto della combustione tra ossigeno ed idrogeno, ad esempio. Una banale combustione, ma che per la violenza con cui avviene è classificata come un'esplosione; ovviamente un'esplosione controllata.

### ***Quindi le esplosioni sono tutte più veloci di una combustione.***

Sì, però anche tra le combustioni possiamo distinguere due classi. Se la velocità con la quale il fronte di reazione chimica è superiore a 1.800 m/s si ha una deflagrazione; è il caso, ricollegandomi all'esempio dello Shuttle, del frastuono così fastidioso dei gas di scarico che si espandono con velocità superiore al suono, quindi si ha la rottura della barriera del suono. Se la velocità di reazione è inferiore a 1.800 m/s si parla di detonazione, in questo caso si sente un botto secco e di durata breve, per fare un esempio, l'esplosione di una mina da cava.

### ***Ma spiegami meglio cosa avviene nell'intimo della reazione chimica.***

La reazione chimica procede in maniera molto semplice: ogni composto chimico rompe i suoi legami, quindi si hanno liberi tutti gli atomi costituenti. Questo richiede energia, l'energia fornita dal detonatore o dal calore o da uno scossone. Gli atomi, in un secondo stadio, si ricombinano tra

di loro formando molecole più semplici, quindi più piccole rispetto a quelle iniziali. Questo processo libera molta energia, quindi, come detto prima, si ha un bilancio netto positivo.

### ***E quali molecole si formano?***

Tipicamente si formano molecole di acqua sotto forma di vapor acqueo, anidride carbonica, azoto, anidride solforosa, monossido di carbonio; a volte rimane però anche materiale incombusto, per dirla con parole più comuni, quindi non reagito con l'ossigeno.

### ***Come mai alcuni atomi non dovrebbero reagire con l'ossigeno?***

Dipende dalla quantità di ossigeno presente nella formulazione, quindi dal bilancio di ossigeno. Secondo le regole di Kistiakowsky-Wilson o di Springall-Roberts, l'ossigeno prima ossida il carbonio in monossido di carbonio, poi, se ne avanza, l'idrogeno in acqua e, se ne avanza ancora, ossida il monossido di carbonio in anidride carbonica.

### ***Quindi il bilancio di ossigeno è fondamentale.***

Oltre che fondamentale è uno dei modi di classificazione degli esplosivi, che secondo questo parametro si classificano in: a bilancio positivo, a bilancio neutro e a bilancio negativo. Se è negativo rimane del materiale incombusto, quindi meno gas e meno potere esplosivo, se è neutro c'è il quanto basta, quindi la reazione è completa, se positivo ce n'è in eccesso.

### ***Mi verrebbe da dire che se è in eccesso è tutto sprecato perché se ne va nell'aria.***

In realtà no, gli studiosi degli esplosivi nel passato hanno sfruttato questa caratteristica per mescolare insieme un esplosivo a bilancio negativo con uno a bilancio positivo; così facendo, quello in eccesso del secondo sopprime alla mancanza del primo, completando la sua reazione di decomposizione e aumentandone la forza.

### ***Quindi esistono anche i mix di esplosivi.***

Questa tua conclusione mi permette di prendere la palla al balzo per chiarire un altro tipo di classificazione degli esplosivi, questa volta secondo la composizione chimica: miscugli esplosivi, esplosivi chimici e miscele chimiche esplosive.

### ***Che differenze esistono tra queste tre categorie?***

I miscugli esplosivi sono, come dice la parola, dei miscugli di sostanze diverse tra di loro, tipicamente il combustibile ed il comburente, a volte degli additivi; un esempio è la polvera nera. Gli esplosivi chimici invece sono quelli esplosivi formati da una sola molecola che contiene sia il combustibile che il comburente insieme, un esempio è la nitroglicerina. Le miscele chimiche esplosive invece sono il mescolamento di due esplosivi chimici, un esempio sono le dinamiti a base esplosiva come le balistiti.

### ***Dai, parlaci della nitroglicerina.***

Eh no, questo in una puntata prossima, ho già individuato anche la canzone che fa al caso!

# L'età della Terra

Dott. Manolo Piat

---

Titolo: **Il mondo non ha età**

Autore: *Enrico Ruggeri*

Album: *L'uomo che vola*

Anno di pubblicazione: 2000

Durata: 3' 56"

---

*Il mondo non era mio  
ma c'era un mondo che mi guardava  
e sorridendomi a modo suo  
era già un mondo che mi aspettava.  
E io che volavo via  
con troppo vento sulla mia faccia.  
Ma lo spettacolo della vita,  
ti piaccia o non ti piaccia,  
è un gran romanzo breve che ti scrivi da te.*

*Il mondo non era ancora  
quella grande scacchiera complessa;  
dovevo osservarla la vita, quella signora,  
con la mia faccia perplessa.  
E intanto si svolgeva attorno a me  
la prima pantomima,  
come in quei dormitori alla mattina  
quando piove.*

*Perché il mondo non ha età,  
spalanca il suo sipario;  
sfoglia un calendario e resta lì.  
C'è una scena immobile  
attorno ad una stanza;  
cambia d'importanza come noi  
e come noi si trasforma.*

*E il mondo sapeva già  
cosa mi stava riservando,  
nel retrogusto di una città  
nella quale mi stavo ambientando.  
E intanto restavo lì  
con il primo di tanti fogli in mano;*

*sarebbero state le circostanze  
a spingerli lontano  
con un percorso strano che si scrive da sé.*

*E il mondo che diventava  
il grande teatro delle incertezze;  
semplicemente si complicava  
tra gesti immobili e debolezze.  
Così cresceva piano dentro me  
la stessa meraviglia,  
per come a volte il mondo si somiglia  
quando vuole.*

*Perché il mondo non ha età,  
distribuisce e toglie;  
coglie fiori che volano via.  
Questo mondo non ha età  
e cambia gli orizzonti  
agli ospiti paganti come noi,  
che ci mettiamo a sedere  
fino a quando c'è da guardare,  
fino a quando ci fanno  
restare qui*

*Il mondo non era mio  
ma c'era un mondo che mi guardava  
e sorridendomi a modo suo  
era già un mondo che mi aspettava.  
E io che volavo via  
con troppo vento sulla mia faccia.  
Ma lo spettacolo della vita,  
ti piaccia o non ti piaccia,  
è un gran romanzo breve che ti scrivi da te.*

*Il mondo non era ancora  
quella grande scacchiera complessa;  
dovevo osservarla la vita, quella signora,  
con la mia faccia perplessa.*

*E intanto si svolgeva attorno a me  
la prima pantomima,  
come in quei dormitori alla mattina  
quando piove.*

*Perché il mondo non ha età,  
spalanca il suo sipario;  
sfoglia un calendario e resta lì.  
C'è una scena immobile  
attorno ad una stanza;  
cambia d'importanza come noi  
e come noi si trasforma.*

*E il mondo sapeva già  
cosa mi stava riservando,  
nel retrogusto di una città  
nella quale mi stavo ambientando.  
E intanto restavo lì  
con il primo di tanti fogli in mano;*

*sarebbero state le circostanze  
a spingerli lontano  
con un percorso strano che si scrive da sé.*

*E il mondo che diventava  
il grande teatro delle incertezze;  
semplicemente si complicava  
tra gesti immobili e debolezze.  
Così cresceva piano dentro me  
la stessa meraviglia,  
per come a volte il mondo si somiglia  
quando vuole.*

*Perché il mondo non ha età,  
distribuisce e toglie;  
coglie fiori che volano via.  
Questo mondo non ha età  
e cambia gli orizzonti  
agli ospiti paganti come noi,  
che ci mettiamo a sedere  
fino a quando c'è da guardare,  
fino a quando ci fanno  
restare qui.*

### ***Bentrovato Manolo per questa nuova puntata di “Note di Scienza”. Che canzone hai scelto per accompagnarci quest'oggi?***

Grazie Donatella e buongiorno a tutti gli ascoltatori. Oggi ho chiesto aiuto ad Enrico Ruggeri e alla sua “Il mondo non ha età”, canzone contenuta nell'album “L'uomo che vola”, del 2000, primo lavoro dell'artista con la Sony. È un testo autobiografico sugli inizi della carriera dell'autore, che insiste sul sentimento di essere un mondo a parte, fuori dagli schemi, è quasi un bisogno di esprimere la distanza tra se stesso e il resto del mondo discografico (e non solo).

### ***Quali spunti ci può dare questo brano, per parlare di scienza?***

Nonostante quanto afferma Ruggeri, il nostro pianeta ha un'età che è stata calcolata con una certa precisione: 4,56717 miliardi di anni. Questo dato, frutto di analisi radiometriche, è stato però raggiunto dopo decenni, se non secoli, di studi e di approssimazioni molto spesso grossolane, per non dire assurde, ma che in mancanza di dati e strumenti adeguati sono state per lungo tempo considerate attendibili e quasi intoccabili.

### ***Puoi farci qualche esempio?***

Già gli antichi greci avevano un concetto straordinariamente vasto del tempo, ad esempio secondo Platone esisteva una civiltà progredita già 9.000 anni prima dei suoi tempi. I Caldei della Mesopotamia, però, andavano oltre, perché ritenevano che l'uomo esistesse da circa 473.000 anni e che la Terra avesse oltre 2 milioni di anni; tempi simili erano indicati anche dagli antichi Cinesi. In mancanza di prove concrete, queste valutazioni erano audaci, ma sfiguravano in confronto a quan-

to affermavano gli Indù: per loro la durata del mondo corrispondeva a un giorno della vita di Brahma; giorno che, secondo i loro calcoli, copriva ben 4,32 miliardi di anni!

### ***Mi sembra ci sia una certa similitudine con l'età vera della Terra...***

In effetti, la coincidenza è notevole e questo è un fatto curioso; mentre l'India antica sfiorava la realtà, seppure casualmente, l'Occidente dei secoli scorsi ne era ben lontano. Questo perché ci si basava sull'interpretazione della Bibbia, allora unica fonte per datare, seppur grossolanamente, l'origine della Terra. Tra i primi a sbilanciarsi ci fu San Barnaba, nel I secolo d.C., che assegnò al nostro pianeta un'età approssimativa di 6.000 anni, stima che rimase sostanzialmente inalterata fino al Medioevo, ma bisogna arrivare al XVII secolo per avere qualche significativa novità.

### ***Cosa succede nel XVII secolo?***

Nel 1647, John Lightfoot (1602-1675) dell'Università di Cambridge, sulla base di una sua interpretazione del Vecchio Testamento, datò la creazione della Terra al 3928 a.C., nel giorno dell'equinozio di Autunno! Tre anni dopo, nel 1650, James Ussher (1581-1656) un prelado irlandese, rese noti i risultati da lui ottenuti integrando considerazioni storiche, cicli astronomici e cronologia biblica. Egli datò la Creazione nel pomeriggio del 22 ottobre 4004 a.C., mentre il Diluvio Universale si collocava nel 2349 a.C.

### ***Queste erano interpretazioni fatte da religiosi; e la scienza cosa diceva?***

La maggior parte degli scienziati, specialmente a partire dalla fine del '700, riteneva che la Terra avesse un'origine molto più antica. George-Louis Leclerc, Conte di Buffon (1707-1788), nella sua "Histoire Naturelle" del 1778, considerava che i pianeti si fossero formati dal raffreddamento di "globi" di fuoco emessi dal Sole in seguito alla collisione di una cometa. Per questo fece costruire dieci sfere di ferro di diametro variabile da 1,3 a 12,5 cm, le riscaldò e sulla base del tempo necessario affinché si raffreddassero a temperatura ambiente ed ipotizzando l'interno della Terra costituito da ferro, fece una stima dell'età del pianeta prossima a 74.832 anni. Ma la svolta decisiva avvenne nel 1785, grazie al fisico scozzese James Hutton (1726-1797); egli arrivò a fissare tre punti fondamentali, ossia: 1) è stato necessario un lasso di tempo indefinito perché si producesse la Terra così come la vediamo; 2) un intervallo equivalente è stato impiegato per la costituzione della Terra primordiale, dalla quale deriva l'attuale; 3) sul fondo degli oceani giace la fondazione della futura Terra, che apparirà dopo un tempo indefinito.

### ***E quale è stata la tappa successiva?***

Arriviamo al 1854, quando Hermann von Helmholtz (1821-1894), basandosi sul tasso di produzione di energia irradiata dal Sole, stimò per la Terra un'età compresa tra i 20 ed i 40 milioni di anni (Ma). Qualche anno dopo, nel 1863, il fisico inglese William Thomson (1824-1907), meglio noto come Lord Kelvin, tentò di definire un metodo quantitativo per determinare l'età della Terra. Immaginò che il pianeta, da un iniziale stato fuso, si stesse raffreddando gradualmente per conduzione. Considerando una temperatura iniziale di 3.870°C, una conducibilità termica delle rocce media su tre valori caratteristici per sabbia, arenaria e diabase ed un gradiente termico di 3,6°C per ogni 100 metri di profondità, Kelvin concludeva che la crosta terrestre doveva essersi formata in un periodo compreso tra i 400 e i 20 Ma dal presente, probabilmente 98 Ma fa.

### ***Quello di Kelvin è un nome importante o sbaglio?***

È vero. Tale era il prestigio di Kelvin all'epoca che le sue valutazioni influenzarono tutti coloro che, con altri metodi, tentavano di datare il pianeta; le conclusioni delle ricerche condotte in quel periodo erano dello stesso ordine di grandezza e spesso i geologi si sforzarono di adattare le loro osservazioni alla stima da lui ottenuta. Ricordiamo tra i seguaci di questa teoria, John Phillips, professore di Geologia ad Oxford, che usò il tasso deposizionale medio degli strati per ipotizzare un'età di 96 Ma. James Croll, scozzese che si occupò dei problemi climatici legati al glacialismo, stabilì che la Terra dovesse avere 100 Ma. Anche Archibald Geikie, direttore del Geological Survey scozzese, si schierò con Kelvin. L'americano Clarence King, partendo da una temperatura iniziale di 2.000°, indicò per il raffreddamento un'età di 24 Ma. Nel 1899, il fisico irlandese John Joly (1857-1933) stimò l'età della Terra dalla quantità dei sali contenuti negli oceani. Egli partì dal presupposto che gli oceani inizialmente erano formati da acque dolci e valutando il tasso con il quale il sodio giungeva ad essi dai fiumi (stimato in 160 milioni di t/anno) ritenne possibile determinare l'età degli oceani e quindi della Terra; indicò così un'età compresa tra 90 e 99 Ma.

### ***Quindi agli inizi del XX secolo ancora non c'era chiarezza.***

Tutt'altro. Nel frattempo, però, avvenne qualcosa di importante. Nel 1896 il francese Henry Becquerel (1852-1908), professore di fisica presso il Musée d'Histoire Naturelle di Parigi, annunciava alla comunità scientifica la sua scoperta: la proprietà di alcuni elementi naturali di emettere spontaneamente delle radiazioni. Vennero così poste le basi della moderna geocronologia e gli anni successivi furono un susseguirsi di scoperte e di rudimentali applicazioni dei primi concetti di datazione radiometrica. Ma queste, è il caso di dirlo, sono proprio storie di altri "tempi"...



# Algebra alternativa

Dott. Alex Casanova

---

Titolo: **2+2=5**

Autore: *Radiohead*

Album: *Hail to the Thief*

Anno di pubblicazione: 2003

Durata: 3' 24"

---

<i>Are you such a dreamer</i>	<i>Payin' attention</i>
<i>To put the world to rights</i>	<i>Payin' attention</i>
<i>I'll stay home forever</i>	<i>Payin' attention</i>
<i>Where two and two always makes a five</i>	<i>Soon oh</i>
<i>I'll lay down the tracks</i>	<i>I try to sing along</i>
<i>Sandbag and hide</i>	<i>But the music's all wrong</i>
<i>January has April showers</i>	<i>Cos I'm not</i>
<i>And two and two always makes a five</i>	<i>Cos I'm not</i>
<i>It's the devil's way now</i>	<i>I'll swallow up flies?</i>
<i>There is no way out</i>	<i>But like flies the bugs keep coming back</i>
<i>You can scream and you can shout</i>	<i>But I'm not</i>
<i>It is too late now</i>	<i>Oh hail to the thief</i>
<i>Because you're not there</i>	<i>Oh hail to the thief</i>
<i>Payin' attention</i>	<i>But I'm not</i>
<i>Payin' attention</i>	<i>But I'm not</i>
<i>Payin' attention</i>	<i>But I'm not</i>
<i>Payin' attention</i>	<i>But I'm not</i>
<i>yeah I feel it, I needed attention</i>	<i>Don't question my authority or put me in the box</i>
<i>Payin' attention</i>	<i>Cos I'm not</i>
<i>Payin' attention</i>	<i>Cos I'm not</i>
<i>Payin' attention</i>	<i>Oh go up to the king, and the sky is falling in</i>
<i>Yeah I need it, I needed attention</i>	<i>But it's not</i>
<i>I needed attention</i>	<i>But it's not</i>
<i>I needed attention</i>	<i>Maybe not</i>
<i>I needed attention</i>	<i>Maybe not</i>
<i>Yeah I love it, the attention</i>	

## **Oggi abbiamo ascoltato una canzone dei Radiohead, giusto Alex?**

Dici bene Donatella abbiamo ascoltato 2+2=5 tratta dall'album "Hail to the thief" del 2003. Tra l'altro i Radiohead figuravano già tra i protagonisti della nostra rubrica: la scorsa stagione avevamo parlato di fisica e di acceleratori di particelle, questa volta vorrei parlare di matematica come suggerisce il titolo.

### ***Il titolo, $2+2=5$ , è strano; qual è il suo significato?***

Il titolo della canzone e le dichiarazioni del cantante del gruppo, Thom Yorke, portano alla luce un background letterario davvero importante per questo brano: il titolo trae ispirazione dal romanzo di George Orwell "1984" dove i cittadini di uno stato autoritario sono costretti a pensare secondo obblighi calati dall'alto e non in modo libero ed indipendente; quindi sono anche costretti ad assoggettarsi a regole matematiche "assurde" come quella per cui due più due fa cinque. Tra l'altro il sottotitolo della canzone, "The Lukewarm", fa riferimento, secondo quanto dichiarato dal cantante, agli ignavi di dantesca memoria, cioè a quelle persone il cui unico peccato è di non aver fatto né del bene, né del male. In tal caso non essersi ribellati al pensiero distorto delle autorità del libro di Orwell.

### ***Quindi una cornice letteraria di tutto rispetto; ma come la mettiamo con la matematica?***

Beh, nella canzone  $2+2=5$  assume il significato di una distorsione del pensiero corretto, distorsione, come detto, imposta con forza dalle autorità. Tuttavia, ho pensato come la matematica possa essere sufficientemente libera e creativa per poter dar vita ad altre regole di calcolo, dove i conti "non tornano".

### ***Mi vuoi dire che $2+2$ non fa sempre 4?***

Esatto, in realtà dipende dalle regole che fissiamo all'inizio del gioco. In questo la matematica è un'opinione, ma rimane rigore logico nel momento in cui fissiamo i principi su cui basare le regole del calcolo. E vorrei fare un paio di esercizi. Preparati Donatella, anche se invito tutti gli ascoltatori a provarci da casa: armatevi di carta e penna così impariamo un po' di "algebra modulare"...

### ***Algebra modulare?***

Nulla di cui preoccuparsi. Quello che vorrei descrivere sono alcune delle regole di calcolo delle cosiddette "classi di resto modulo  $n$ "; il nome è complesso, ma vorrei spiegare le regole in modo semplice facendo inizialmente riferimento al numero 2. Donatella, dimmi un numero da 1 a 10...

...7...

Bene, adesso dividilo per 2.

...3...

E quanto vale il resto di questa divisione?

### ***Il resto vale 1...***

Esattamente, il resto della divisione di 7 per 2 è uguale ad 1. Infatti il numero che hai scelto inizialmente è un numero dispari, non divisibile per 2 e come per tutti i numeri dispari il resto della divisione per 2 è uguale ad 1. Quindi tutti i numeri dispari costituiscono una classe, in altre parole un'insieme, l'insieme dei numeri che divisi per 2 hanno resto uguale ad 1. Se avessi scelto un numero pari avresti trovato un resto pari a 0; quindi tutti i numeri pari costituiscono un secondo insieme, l'insieme dei numeri il cui resto della divisione per 2 vale 0.

### ***In altre parole è come aver separato i numeri pari dai numeri dispari...***

Esatto; prendendo in considerazione il resto della divisione per 2 abbiamo individuato due

classi di resto modulo 2: i numeri pari che costituiscono la classe di resto 0 e i numeri dispari che costituiscono la classe di resto 1. Complichiamo un po' le cose e proviamo a prendere in considerazione la divisione per 3.

***Ok, come prima devo prendere un numero e dividerlo adesso per 3...***

Sì, prendi lo stesso numero di prima...

***Ok, 7 che diviso 3 fa 2 con resto di 1...***

Benissimo; a me viene in mente il 4 che diviso per 3 fa 1 sempre con resto di 1. Quindi 7 e 4 sono due numeri che divisi per 3 hanno lo stesso resto, quindi vengono inclusi nella stessa classe, nello stesso insieme. Ora dividendo per 3 posso trovarmi di fronte a numeri con resto 0, ovvero il 3 e i suoi multipli (6, 9, 12 e così via...), a numeri con resto 1 (come il mio 4 o il tuo 7), ma anche a numeri con resto uguale a 2: per esempio, 5 diviso 3 fa 1 con resto 2, oppure 8: il 3 nell'8 sta 2 volte con resto 2. Quindi dividendo per 3 separo i numeri in tre classi: l'insieme dei numeri il cui resto della divisione per 3 fa 0, oppure 1, oppure 2. Adesso Donatella ti faccio una domanda: se andassimo avanti così, quante classi di resto modulo 4 riusciresti ad individuare?

***Se divido per 4 posso avere 4 classi giusto?***

Esattamente... pensiamo di pescare i numeri della tombola in modo crescente (1, 2, 3 e così via...) e dividerli ogni volta per 4: il numero 1 diviso per 4 mi dà resto 1, il 2 mi dà resto 2, il 3 diviso per 4 mi dà resto 3, il 4 invece mi dà resto 0, il 5 mi dà resto 1, il 6 mi dà resto 2... e mi accorgo di aver ricominciato il giro che prosegue ripetendosi ogni quattro numeri. Questa ciclicità si lega al fatto che i numeri vengono distribuiti in quattro classi distinte, è come se distribuissimo i numeri della tombola in quattro sacchetti in modo ordinato: l'1 nel primo sacchetto, il 2 nel secondo sacchetto, il 3 nel terzo, il 4 nel quarto sacchetto, il 5 nel primo, il 6 nel secondo e così via fino al 90. Ognuno di questi sacchetti costituisce una classe di resto modulo 4. E il 90 in che sacchetto finisce?

***Continuiamo a parlare di algebra modulare... il 90 finisce nel secondo sacchetto comunque...***

Esatto Donatella! Dopo aver visto come dividere i numeri interi in classi di resto modulo un numero intero positivo che scegliamo noi, vorrei introdurre la somma all'interno di queste classi per vedere come la ciclicità introdotta in precedenza si ripresenti ancora quando parliamo di questa particolare algebra modulare. Torniamo così al caso dei numeri modulo quattro e proviamo a fare  $2+2$  come suggerito dai Radiohead. Quanto fa Donatella?

***Con calma,  $2+2$  per come siamo abituati fa 4...***

...che diviso per 4...

***...fa 1 con resto 0... quindi  $2+2=0$ ?***

Esatto,  $2+2$  non fa sempre 4; nell'algebra modulare, formulando bene la regola, un numero della classe di resto 2 sommato ad un numero della classe di resto 2 fa un numero della classe di resto 0. Siamo ancora usando le regole dell'aritmetica imparata a scuola, ma modulate per quattro, cioè distribuendo i numeri in quattro classi, quindi muovendoci ciclicamente fra i sacchetti: ogni volta che sommando due numeri arriviamo all'ultimo sacchetto ripartiamo con il conteggio dal pri-

mo sacchetto.

### ***Potresti fare alcuni esempi di algebra modulare nella vita quotidiana?***

In effetti l'algebra modulare la utilizziamo quotidianamente in modo inconsapevole. Proviamo a pensare per esempio ai giorni della settimana. Sappiamo perfettamente che sono sette e che ciclicamente si ripresentano con lo stesso ordine. Bene, l'algebra dei giorni della settimana è un'algebra modulo 7 e i giorni non sono altro che etichette delle sette classi di resto modulo 7 in cui dividere i numeri interi. Per esempio, oggi è lunedì, il primo giorno della settimana. Domanda: tra 30 giorni che giorno della settimana sarà?

### ***Bella domanda? Posso contare sul calendario...***

Certo, oppure potresti usare l'algebra modulo 7. Il 7 nel 30 sta 4 volte con resto 2: questo significa che sul calendario attraversi 4 settimane intere più 2 giorni. Senza fare troppi sforzi e senza contare trenta giorni sul calendario sappiamo che sarà un mercoledì.

### ***A questo punto mi vengono in mente i mesi dell'anno...***

...e dici bene, in tal caso abbiamo una ciclicità sui 12 mesi e quindi un'algebra modulo 12. Qualcuno potrebbe pensare all'orologio: in tal caso abbiamo 24 ore che si ripetono ciclicamente, quindi l'algebra dell'orologio è un'algebra modulo 24. Ma esistono anche applicazioni più sofisticate e anche in questo caso le usiamo più o meno inconsapevolmente tutti i giorni.

### ***Di cosa si tratta?***

Sto parlando di Internet, in particolare del sistema di crittografia a chiave pubblica di Rivest-Shamir-Adleman, cioè lo scambio attraverso la rete di informazioni criptate. Questo sistema, per intenderci il lucchetto che compare sui nostri browser quando visitiamo pagine protette, si basa su un algoritmo che sfrutta le proprietà dei numeri primi e l'algebra modulare di cui abbiamo parlato. Quindi un'applicazione importante di proprietà matematiche particolari che alla fin fine sono più vicine di quanto possiamo immaginare.

### ***Per concludere, 2+2 non fa 5?***

Diciamo di no, almeno per l'algebra modulare di cui abbiamo parlato oggi; per i Radiohead  $2+2=5$  è sinonimo dell'imposizione di un pensiero distorto. In realtà le regole del calcolo possono essere ampliate e riviste diventando così una metafora dell'apertura del pensiero umano verso nuove idee.

# L'ozono

Dott. Fabiano Nart

---

Titolo: **Ozone baby**

Autore: *Led Zeppelin*

Album: *Cosa*

Anno di pubblicazione: 1982

Durata: 3' 35"

---

*I hear ya knock on my door*

*I ain't been saving this scene for ya honey*

*Don't wantcha ringin my bell*

*It's too late for you to be my honey*

*ooh, it's my love*

*ooh, it's my own true love (X2)*

*Don't want you wasting my time*

*Tired of ya doing the things that you do*

*It's no use standing in line*

*Follow the line, you better form a queue*

*I say, ooooh, it's my love*

*oooh, it's my own true love (X2)*

*I could sail a river run dead, but I know it's dead*

*I could I wish for a million, yeah. But I know it's dead*

*I could cry within the darkness, I sail away*

*I save a lifetime forever*

*But you know, you know, you know what I say*

*And I say Ooh, it's my love*

*Oooh, it's my own true love (repeat)*

***Fabiano, ci fai tornare indietro con gli anni con questa canzone dei Led Zeppelin, "Ozone baby".***

Esatto, era l'anno 1982, ed ascoltando tempo fa questa canzone mi sono chiesto quanti in quell'anno sapevano cosa fosse l'ozono ed il suo "buco". Per cui ho pensato di portare questa canzone a "Note di Scienza" per illustrare le dinamiche dell'ozono.

***Credo che inizierai raccontandoci che cos'è l'ozono.***

Quasi scontato e d'obbligo. L'ozono è un composto triatomico, formato da solo ossigeno, di formula chimica  $O_3$ . I tre atomi formano un angolo di circa  $117^\circ$ , a temperatura ambiente è un gas tossico e molto instabile, liquido invece è esplosivo.

***Come mai è così instabile?***

La sua instabilità è da ricercare nella sua formula di struttura: difatti, ogni ossigeno può formare due legami, al massimo tre. Nella struttura aperta a tre atomi di ossigeno, un ossigeno all'estremo ha due legami con quello centrale, quello al lato opposto ne ha solo uno con quello centrale, il quale ne ha a questo punto tre, il massimo. L'ossigeno che ha due legami "sta bene", quello centrale in virtù dei tre legami ha una carica positiva, quello all'altro estremo, che ha un solo legame, ha una carica negativa. Le cariche rappresentano instabilità e situazioni energetiche poco favorevoli, per cui si ha la decomposizione che porta alla formazione di molecole stabili.

### ***E che cosa si forma nella decomposizione dell'ozono?***

Quando l'ozono si decompone fornisce ossigeno biatomico ed un radicale di ossigeno monoatomico.

### ***Scusami, ma mi sfugge il concetto di radicale.***

Per radicale si intende un atomo che possiede un elettrone spaiato, quindi solo. Di solito gli elettroni sono accoppiati a due, quando uno si trova spaiato si parla di radicale.

### ***Quindi è questo il motivo per cui si forma il buco dell'ozono?***

In realtà no, in quanto il radicale che si forma è una specie molto reattiva che cerca un compagno di reazione chimica e lo trova proprio nel "fratello" ossigeno che si è formato insieme ad esso. Di notte, al riparo dai raggi UV del Sole, il radicale ossigeno si combina con l'ossigeno bimolecolare per riformare l'ozono. Ozono che durante il giorno, a causa dei raggi UV, si decompone; è quindi un ciclo continuo che ci scherma dai dannosi raggi ultravioletti.

### ***Ma allora a cosa è dovuto il famoso buco dell'ozono?***

Il buco dell'ozono è dovuto a delle reazioni collaterali che perturbano l'equilibrio ozono/ossigeno appena descritto. Queste reazioni collaterali sono dovute all'emissione di gas di origine antropica, quali i CFC (clorofluorocarburi) che venivano utilizzati negli impianti di refrigerazione negli anni passati; in particolare, il problema è dovuto agli atomi di cloro che forma radicali.

### ***Ma si tratta di un vero buco?***

In realtà no, è più corretto parlare di un assottigliamento dello strato di ozono che è collocato nella stratosfera e si estende all'incirca tra i 20 ed i 40 km dalla superficie terrestre. Lo spessore di questo strato si è decisamente assottigliato dagli anni '50/'60 in poi, è quindi venuta meno la protezione per l'uomo verso i raggi UV, in particolare gli UV-B.

### ***Quindi questo strato si assottiglia uniformemente?***

No, l'assottigliamento si concentra ai poli per cause combinate di temperature rigide d'inverno, con circolazioni d'aria locali che isolano queste zone dai tropici, dove invece si ha una gran formazione di ozono. Poi questo ozono durante le stagioni calde si sposta dai tropici ai poli, quindi va a risanare le scorte.

### ***Allora mi stai dicendo che l'assottigliamento in realtà è ciclico.***

È proprio così, è ciclico e lo è per natura. Però le attività antropiche hanno prodotto una riduzione dello strato d'ozono ai poli che va ben oltre quella dovuta al solo il ciclo naturale.

### ***Ora però vorrei capire come si forma l'ozono, basta parlare della sua distruzione!***

Innanzitutto, in laboratorio se serve ozono si produce in situ al momento, in quanto produrne tanto e immagazzinarlo non conviene, data la sua grande instabilità. In natura si forma o per azione di raggi UV con particolari lunghezze d'onda, oppure grazie a scariche elettriche intense. Ci sono tanti altri modo di generazione, tutti comunque partono dall'ossigeno.

### ***E nella vita di tutti i giorni possiamo assistere alla produzione di ozono?***

La produzione di ozono per scariche elettriche è un fenomeno molto comune durante i temporali a causa dei fulmini. È facile da individuare in quanto nell'aria si sente un odore di aglio, comunque pungente e caratteristico. Non è un caso che la parola ozono derivi dal greco e voglia dire "puzzare". Ma l'ozono si produce spesso anche in ufficio!

### ***In ufficio?***

Eh già! Quando si utilizzano fotocopiatrici o stampanti laser, a causa della alte tensioni in gioco e all'elettricità statica che serve a depositare la polvere del toner, l'ossigeno dell'aria si trasforma in ozono. L'ozono diventa quindi un parametro importante per la salute negli ambienti di lavoro chiusi.

### ***Fabiano, ci sono applicazioni pratiche dell'ozono?***

Direi che l'applicazione più conosciuta è quella degli ozonizzatori per l'aria o per l'acqua, comunque di tutti i sistemi di purificazione. La purificazione avviene proprio in virtù della grande instabilità dell'ozono che, producendo il radicale ossigeno, deteriora batteri ed inquinanti.

### ***Abbiamo detto che il fenomeno "buco dell'ozono" è vecchio di anni, ma cosa è stato fatto per eliminare il problema?***

Per l'esattezza il fenomeno risale al 1974 per quanto riguarda i primi studi, ma la ribalta avvenne nel 1985 grazie ad un articolo che diede fuoco alle polveri e che denunciò la preoccupante situazione dei poli terrestri. Nel 1987 venne firmato il protocollo di Montreal per la progressiva riduzione della produzione ed utilizzo dei CFC, nel 1990 ci fu l'accordo per la totale eliminazione. Attualmente credo che solo India e Cina stiano ancora utilizzando questi gas.

### ***Noi diamo sempre colpa all'uomo, ma ci sono fenomeni naturali nemici dell'ozono?***

Sì, ce ne sono. Ad esempio, una via naturale di produzione di cloro è quella che prevede la migrazione verso la stratosfera del clorometano generato sulla Terra e negli oceani come prodotto di reazioni biologiche o fotochimiche. Mentre non sono note fonti naturali di fluorocarburi.

### ***Vuoi fare ancora un battuta prima della chiusura?***

Guarda Donatella, non ho più nulla di istruttivo da raccontare, chiudo invece con una considerazione personale: a permettere la vita e a preservarla è un gas che invece è nocivo per la vita, di sicuro per l'uomo.

# Ricorsione

Ing. Paolo Alessandrini

---

Titolo: ***Astronomy Domine***

Autore: *Pink Floyd*

Album: *Ummagumma*

Anno di pubblicazione: 1969

Durata: 5' 57"

---

*Lime and limpid green*

*A second scene,*

*A fight between the blue*

*You once knew.*

*Floating down the sound*

*Resounds around*

*The icy waters underground.*

*Jupiter and Saturn,*

*Oberon, Miranda and Titania,*

*Neptune, Titan*

*Stars can frighten.*

*Blinding signs flap flicker flicker flicker*

*Blam pow pow*

*Stairway scare Dan Dare, who's there?*

*Lime and limpid green*

*The sound surrounds*

*The icy waters underground.*

*Lime and limpid green*

*The sound surrounds*

*The icy waters underground.*

## ***Anche per questa puntata partiamo da una canzone di Pink Floyd...***

Sì, e anche il brano che abbiamo ascoltato, intitolato "Astronomy Domine" è contenuto nell'album del gruppo rock inglese, "The piper at the gates of dawn", del 1967. La canzone, però, venne inclusa, due anni dopo, anche nell'album doppio dal bizzarro titolo "Ummagumma", un disco con il quale i Pink Floyd passarono dalle atmosfere psichedeliche dei primi anni ad uno stile più vicino ai canoni del rock progressivo. Ed è di questo celebre disco che vorrei parlare oggi.

## ***C'è qualche connessione tra "Ummagumma" e la matematica?***

Sì, ma lo spunto non sta né nella musica, né nei testi di questo album, ma nella copertina! Forse molti dei nostri ascoltatori possiedono la pregiata versione in vinile di questo disco, ma va bene anche l'edizione in CD; in ogni caso nella strana immagine in copertina si vede il chitarrista David Gilmour seduto in primo piano e alle sue spalle si nota una fotografia incorniciata e appesa al muro, e gli altri componenti del gruppo, in posizioni diverse fuori dalla porta di casa.

## ***E fin qui nulla di strano...***

No, ma se osserviamo bene la fotografia sul muro, vi notiamo una scena del tutto uguale a quella dell'intera immagine di copertina: questa volta però è Roger Waters a essere seduto in primo piano, gli altri tre musicisti si trovano fuori dalla porta; e sul muro, un'altra fotografia analoga alla precedente, che contiene di nuovo la stessa scena...



### ***Una specie di sistema di scatole cinesi, l'una dentro l'altra?***

Esatto, scatole cinesi, o matrioske... In altre parole, questa copertina contiene un bellissimo esempio di ricorsività, o ricorsione, come amano dire gli informatici. La ricorsività si viene a creare ogniqualvolta un oggetto contiene una copia di se stesso, o fa in qualche modo riferimento a se stesso. Qualcosa di molto simile all'autoreferenzialità.

### ***Ma se l'immagine della copertina del disco contiene una copia di se stessa, si tratta di un gioco senza fine...***

In teoria, la catena potrebbe proseguire all'infinito, cioè ogni fotografia potrebbe contenere se stessa al suo interno, e così via indefinitamente; ma così ci ritroveremmo in un circolo vizioso e in pratica la cosa non può funzionare. Infatti, nel caso della copertina di "Ummagumma", se i nostri ascoltatori che possiedono il prezioso vinile osservano bene, potranno constatare che dopo quattro livelli di autoinclusione, o di ricorsione, la fotografia appesa al muro non raffigura più la solita scena, ma, a sorpresa, tutt'altra immagine, e precisamente la copertina di un altro disco dei Pink Floyd!

### ***Quindi il ciclo di ricorsione deve a un certo punto arrestarsi?***

Prima o poi sì, altrimenti la cosa non ha senso. È come avere un certo numero di matrioske, ciascuna delle quali ne contiene un'altra: prima o poi, inevitabilmente, troveremo una matrioska vuota, o, se volete, una matrioska contenente un oggetto che non è una matrioska.

### ***Paolo, puoi fare qualche altro esempio di ricorsione?***

Beh, noi informatici abbiamo spesso a che fare con la ricorsione, perché è una tecnica che si presta molto bene a risolvere alcuni particolari problemi o per fare certi tipi di calcoli. Ad esempio, si può scrivere un programma che, a un certo punto della loro esecuzione, chiama se stesso, generando così una sequenza di chiamate che termina soltanto quando succede qualcosa di particolare; e questo qualcosa corrisponde alla nostra matrioska vuota. Anche i matematici conoscono bene la ricorsione: esiste ad esempio una funzione particolare, chiamata "fattoriale". Cos'è il fattoriale di un numero? È quel numero stesso moltiplicato per tutti i numeri che vengono prima di lui; ad esempio il fattoriale di 3 è uguale a  $3 \times 2 \times 1$ , che è uguale a 6. E il fattoriale di 4? Beh, è uguale a  $4 \times 3 \times 2 \times 1$ , cioè 24. Ma allora il fattoriale di 4 si può calcolare anche come 4 moltiplicato per il fattoriale di 3, cioè  $4 \times 6$ , che è appunto uguale a 24.

### ***Ma in questo caso dov'è l'ultima matrioska, quella vuota?***

Buona domanda! Il fattoriale di 3, a sua volta, può essere calcolato come 3 moltiplicato per il fattoriale di 2, il fattoriale di 2 è uguale a 2 moltiplicato per il fattoriale di 1, ma non possiamo andare avanti all'infinito, perché se non ci fermiamo mai arriveremmo presto al fattoriale di 0, al fattoriale di -1, al fattoriale di -2: sarebbe come fare un bel buco per terra e scavare nei numeri negativi, creando un disastro! Qual è il trucco, allora? Semplicemente diciamo che il fattoriale di 0 è uguale a 1. In questo modo mettiamo un limite al ciclo della ricorsione, e il calcolo del fattoriale diventa un'operazione possibile e non un'assurda catena senza fine.

### ***Ma questa tecnica viene davvero usata nei programmi informatici?***

Certamente, viene usata molto più spesso di quanto si possa immaginare. Molti problemi

complessi, affrontati con un approccio ricorsivo, possono essere risolti con grande semplicità, e questa è una specie di arte fondamentale che ogni informatico impara nei primi anni di studio di questa meravigliosa disciplina. Ad esempio, se devo scrivere un programma per mettere in ordine alfabetico delle lunghe liste di nomi, l'approccio più veloce è sicuramente di tipo ricorsivo. I nostri computer e i nostri smartphone sono pieni di programmi che ordinano cose: ad esempio, i titoli delle canzoni del nostro ipod, la rubrica del nostro telefonino, e così via. Dietro tutti questi programmi c'è la ricorsione.

### ***La ricorsione esiste solo in matematica e in informatica?***

No, è un concetto che ritroviamo un po' dappertutto: ad esempio nel cinema. Un film recente davvero notevole a questo proposito è "Inception" di Christopher Nolan, che certamente molti dei nostri ascoltatori hanno visto. In questo film, Leonardo Di Caprio impersona un professionista pagato per infiltrarsi nei sogni delle persone per estrarre segreti o per innestare idee. Nell'avvincente trama del film, il protagonista si insinua nel sogno di un uomo d'affari e, una volta dentro il sogno, si addormenta, trovandosi in un "sogno dentro un sogno", e poi ancora una volta, entrando in un "sogno dentro un sogno dentro un sogno".

### ***Ci troviamo insomma in un ciclo di sogni ricorsivi, annidati l'uno dentro l'altro...***

Sì, e tra l'altro questi "sogni dentro i sogni" mi fanno venire in mente la poesia "Un sogno dentro un sogno" di Edgar Allan Poe, ma anche una canzone di Elio e le Storie Tese, intitolata "Abate cruento"; che inizia con i versi: *Questa notte ho fatto un sogno strutturato a matrioska:/ io sognavo di sognare che un abate un po' cruento/ dopo avermi esaminato mi ordinava di svegliarmi.(...)* Anche qui, un po' come in "Inception", abbiamo "un sogno dentro un sogno dentro un sogno", cioè un sogno di terzo livello; successivamente, l'abate cruento ordina per ben due volte di "procedere a un risveglio", e quindi dal terzo livello del sogno si ritorna al primo. D'altra parte, Stefano Belisari, in arte Elio, oltre ad essere un musicista è anche laureato in ingegneria elettronica e sicuramente conosce bene le tecniche della ricorsione.

### ***Paolo, abbiamo parlato di ricorsione nel cinema. Anche nella letteratura ritroviamo questo concetto?***

Sì, un esempio letterario è offerto dall'Amleto di Shakespeare, in cui a un certo punto i personaggi mettono in scena una tragedia che si rivela simile all'Amleto stesso: come dire che l'Amleto contiene dentro di sé un altro Amleto, il quale contiene un altro Amleto, e così via all'infinito. Una analoga situazione ricorsiva la ritroviamo nei "Sei personaggi in cerca d'autore" di Luigi Pirandello, ma un po' tutta la letteratura moderna è piena di strutture ricorsive e giochi autoreferenziali: potrei citare "Aspettando Godot" di Samuel Beckett, l'incipit del romanzo "Se una notte d'inverno un viaggiatore" di Italo Calvino, molti racconti di Borges, il romanzo "I fiori blu" di Raymond Queneau, e chissà quanti altri.

### ***Anche nell'arte figurativa ci sono esempi di ricorsione?***

Certo, soprattutto l'arte moderna fornisce molti spunti: potrei citare i famosi dipinti di Magritte che raffigurano pipe, ma soprattutto le costruzioni impossibili e le distorsioni geometriche di Maurits Cornelis Escher. Particolarmente notevole è la famosa opera intitolata "Mani che disegna-

no”, dove una mano che impugna una matita disegna su un foglio un'altra mano, la quale, a sua volta, paradossalmente, disegna la prima mano...

### ***Quali altri esempi si potrebbero fare?***

Beh, negli anni settanta, sulle scatole di cacao della marca olandese Droste, era disegnata un'infermiera con in mano un vassoio con una tazza e una scatola della stessa marca. Si parla infatti di “effetto Droste” per indicare immagini contenenti versioni ridotte di se stesse.

### ***Un po' come quando ci si ritrova in mezzo a due specchi?***

Sì, esatto, anche quella è una situazione che genera un effetto Droste, perché nei due specchi si vedono gli oggetti moltiplicati in modo vertiginoso. Una situazione del tutto analoga si ottiene collegando una telecamera ad uno schermo televisivo e inquadrando lo schermo stesso con la telecamera. L'analogo sonoro si verifica puntualmente durante le conferenze, quando si avvicina involontariamente il microfono all'altoparlante, generando quel fastidioso stridio tecnicamente chiamato “feedback audio”.

### ***Paolo, un ultimo esempio di ricorsione!***

Chiudiamo in leggerezza: chi non ha mai sentito la filastrocca per bambini che fa: *C'era una volta un Re/ seduto sul sofà/ che disse alla sua serva/ raccontami una storia/ e la serva incominciò:/ C'era una volta un Re/ seduto sul sofà...* Che cos'è questo, se non un magnifico esempio di ricorsione?

# La storia della Terra in un anno

Dott. Manolo Piat

---

Titolo: **We are young**

Autore: *Fun.*

Album: *Some Nights*

Anno di pubblicazione: 2012

Durata: 4' 13"

---

<i>Give me a second I, I need to get my story straight My friend's are in the bathroom getting higher than the empire state My lover she's waiting for me just across the bar My seat's been taken by some sunglasses asking about a scar, and I know I gave it to you months ago I know you're trying to forget But between the drinks and subtle things Though holes in my apologies I'm trying hard to take it back So if by the time the bar closes And you feel like falling down I'll carry you home</i>	<i>Maybe we could find a way to solve the crime But our friend isn't back So let's raise the ta 'Cause I found someone to carry me home Rit.: (...) Carry me home tonight (Nananananana) Just carry me home tonight (Nananananana) Carry me home tonight (Nananananana) Just carry me home tonight (Nananananana) Come on... side I have no reason to hide So will someone come and carry me home tonight The end is never right Where I can... So will someone come and carry me home Rit.: (...)</i>
<i>Rit.: Tonight We are young So let's set the world on fire We can go brighter than the sun (x2)</i>	
<i>Though I know it I'm not All that you got I guess that I, I just thought</i>	<i>So if by the time the bar closes And you feel like falling down I'll carry you home tonight</i>

## **Buongiorno Manolo, cosa ci riserva questo nuovo appuntamento con "Note di Scienza"?**

Buongiorno Donatella, oggi ci muoviamo sulle note di "We Are Young", singolo del gruppo pop statunitense Fun., pubblicato il 20 settembre 2011 dall'etichetta discografica Fueled by Ramen ed estratto dal secondo album di inediti del gruppo, "Some Nights", pubblicato nel febbraio 2012. "We Are Young", singolo più venduto nel mondo in quell'anno, è una power ballad che mescola elementi del rock e dell'indie pop, senza tralasciare le sonorità hip hop. Secondo quanto dichiarato dal gruppo stesso, la canzone è un inno dei Fun. e rappresenta la sintesi del loro mondo musicale.

### ***Quale “aggancio” scientifico ti ha ispirato questo brano?***

Come ricorderai, la scorsa puntata abbiamo parlato dell'età della Terra. Per un geologo è normale, affrontando certi argomenti, ragionare in milioni o in miliardi di anni, ma questi enormi intervalli di tempo sfuggono alla nostra comprensione. Per meglio comprendere la vastità del tempo geologico è quindi più facile ridurre la lunga storia del nostro pianeta ad un unico anno solare; con questo stratagemma è possibile analizzare più facilmente la successione degli eventi ed avere il senso della brevità della storia dell'Uomo rispetto a quella della Terra.

### ***Quindi farai una proporzione tra i miliardi di anni della Terra e i 12 mesi dell'anno, giusto?***

Esatto, Donatella. In questo calcolo, partendo da un'età del pianeta di 4,56717 miliardi di anni, ogni giorno corrisponde a circa 12,5 milioni di anni, un'ora a 520.000 anni, un minuto a circa 8.700 anni, un secondo a circa 145 anni. Supponiamo quindi che la formazione della Terra sia avvenuta esattamente a mezzanotte del primo gennaio e posizioniamo sul nostro calendario le principali tappe della sua storia evolutiva.

### ***Partiamo quindi da gennaio.***

Teoricamente sì, ma nei primi due mesi del nostro anno “geologico” non accadde in pratica niente di interessante, per lo meno nulla che ci abbia lasciato delle testimonianze fisiche. In realtà forse qualcosa è avvenuto e anche di importante, ossia la nascita della Luna in seguito all'impatto tra la Terra e un corpo celeste delle dimensioni di Marte, ma questa è solo una teoria e, come dicevo, non c'è una prova concreta.

### ***Passiamo quindi direttamente a marzo?***

Sì, ai primi giorni di marzo, per essere più precisi, quando sulla Terra fanno la loro comparsa le prime forme viventi. Numerose sono le ipotesi che cercano di dare una spiegazione all'origine della vita, ma la sola cosa certa, fino a prova contraria, è che le prime testimonianze di attività biologica risalgono a circa 3,9-3,8 miliardi di anni fa. Si tratta solo di batteri, ma da quelle primordiali forme di vita si svilupperà in seguito un'incredibile varietà di esseri viventi, tra cui l'uomo.

### ***Tocca ad aprile.***

Ma come dice il proverbio: “aprile, dolce dormire”. Infatti, anche in questo mese gli eventi sono piuttosto scarsi. Questo ci fa capire come un lungo periodo della storia della Terra sia stato caratterizzato da una certa stabilità e quiete evolutiva, per così dire. Bisogna infatti arrivare agli inizi di maggio, ossia poco più di 3 miliardi di anni fa, per trovare un evento significativo: la nascita della fotosintesi delle alghe blu-verdi. Questo fatto comporta la liberazione di ossigeno che, gradualmente, andrà a diffondersi in atmosfera, rendendo abitabili le terre emerse. Ma sarà necessario un lunghissimo periodo di tempo affinché la superficie sia colonizzata dai primi organismi.

### ***Anche giugno è un mese povero di eventi?***

Abbastanza, ma merita di essere ricordato per un fatto fondamentale. Durante tutto il mese, ossia tra 2,625 e 2,250 miliardi di anni fa, nascono e si sviluppano i primi organismi pluricellulari. Ci vorranno ancora quasi 2 miliardi di anni, affinché si sviluppino le prime forme di vita complesse. Bisogna però dire che le testimonianze geologiche più antiche sono molto scarse e di difficile lettura, perciò è probabile che qualche pagina sia andata dispersa o non sia ancora stata trovata. E visto che il salto temporale è molto lungo, meglio fare prima una breve pausa musicale.

### ***Da quale mese del nostro calendario ripartiamo?***

Da giugno saltiamo direttamente ai primi giorni di novembre, quando incontriamo i primi organismi complessi, quelli della fauna di Ediacara. Siamo alla fine del Proterozoico, 680 milioni di anni fa e la vita ha iniziato a diversificarsi notevolmente, anche se si tratta per lo più di meduse e anellidi. Da qui in poi gli eventi si fanno più incalzanti; verso il 20 del mese si posizionano i fossili più antichi trovati in provincia di Belluno. Arriviamo quindi alla fine di novembre, nel Devoniano, per trovare i primi vertebrati, i pesci e le piante terrestri.

### ***Siamo arrivati all'ultimo mese dell'anno, cosa ci riserva?***

Dicembre è un mese davvero impegnativo. Tra il 5 e il 7, nel Carbonifero, (320 Maf = milioni di anni fa) si sviluppano gli insetti e compare il primo rettile; la mattina dell'11 (245 Maf, Triassico) compare il primo dinosauro, mentre per vedere i primi uccelli e i primi mammiferi dobbiamo aspettare il 14 (208 Maf), verso le 3; alle 8 del 19 dicembre (144 Maf) sul pianeta fanno al loro comparsa le prime piante con fiori, mentre il giorno di Natale ci riserva una sorpresa: l'estinzione di massa di fine Cretacico, con la scomparsa dei dinosauri, avvenuta intorno alle 17.30.

### ***E nell'ultima settimana?***

Giorni convulsi, un po' come capita ancora oggi sotto le feste. Per questo è meglio concentrarsi sul giorno di San Silvestro, 31 dicembre. A metà mattina si affaccia il primo progenitore delle scimmie (7 Maf) e quindi dell'uomo, mentre il primo fossile del genere *Homo* si posiziona intorno alle 4 pomeridiane. Alle 23:58:45 compare l'*Homo sapiens sapiens*, un minuto e un secondo dopo ha inizio l'era cristiana; alle 23:59:57 Colombo scopre l'America. Nell'ultimo secondo o poco più si sviluppano le ricerche geologiche. Alla luce di queste date, possiamo dire che i Fun. hanno proprio ragione: "We are young"!

# La nitroglicerina

Dott. Fabiano Nart

---

Titolo: **Nitro (youth energy)**

Autore: *Offspring*

Album: *Smash*

Anno di pubblicazione: 1994

Durata: 2' 26"

---

*Our generation sees the world  
Not the same as before  
We might as well just throw it all  
And live like there's no tomorrow  
We are the ones  
Who are living under the gun every day  
You might be gone before you know  
So live like there's no tomorrow  
Ain't gonna waste this live  
The official view of the world has changed  
In a whole new way*

*Live fast cause if you don't take it  
You'll never make it  
So if you understand me  
And if you feel the same  
Then you will know what nitro means  
You'll live like there's no tomorrow  
Ain't gonna waste this live  
There's no tomorrow  
You ain't gonna live it for me  
There's no tomorrow*

## **Una botta di energia con questa canzone degli Offspring, “Nitro”!**

Questa è proprio una canzone dal ritmo energetico, direi tipico stile degli Offspring. Ascoltando attentamente il testo si sente dire che si vive come se non ci fosse un domani e che la visione del mondo è cambiata. Il testo è la parafrasi di un fenomeno quasi naturale, ovvero che ogni nuova generazione vive e si comporta in maniera diversa da quella precedente; e difatti nel titolo si troverebbe anche tra parentesi “youth energy”. Secondo l'autore della canzone, questo è il “Nitro”.

## **Però io associo la parola “nitro” agli esplosivi, come la nitroglicerina.**

Eh brava Donatella, dici bene! E se ricordi, in una mia puntata precedente parlai degli esplosivi con una canzone dei Cardigans; alla fine mi chiedesti di parlare della nitroglicerina ed io ti risposi che lo avrei fatto in quanto avevo individuato la canzone adatta. Ed eccoci qua!

## **Ma nitro che cosa ha a che fare con gli esplosivi?**

Si può dire che il nitro, o meglio il gruppo nitro, inteso come gruppo chimico, è un costituente importante degli esplosivi. In particolare degli esplosivi cosiddetti chimici, vale a dire dove tutti gli ingredienti (comburente e combustibile) sono contenuti in una sola molecola.

## **Ed il gruppo nitro fa parte del comburente o del combustibile?**

È tipicamente un comburente, in quanto fornisce l'ossigeno che serve a bruciare il combustibile. Difatti, il gruppo nitro degli esplosivi ha formula  $\text{NO}_2$ , quindi due atomi di ossigeno.

### ***Ma come si fa ad inserire questi gruppi nitro in una molecola?***

Si fa grazie ad una reazione chimica piuttosto semplice che va sotto il nome di nitratura. La nitratura si fa in presenza di acido nitrico ed acido solforico, i quali reagendo insieme producono un gruppo detto ione nitrosonio che è molto instabile e reattivo e che quindi va ad attaccarsi alla molecola base di partenza. Questo attacco avviene o ad un atomo di ossigeno, ad uno di carbonio o ad uno di azoto.

### ***Quindi nel caso della nitroglicerina si parte dalla glicerina?***

Esatto, si parte dalla glicerina che è un alcol trivalente, quindi con tre gruppi idrossilici OH. È un composto piuttosto comune e diffuso. In presenza di acido nitrico ed acido solforico, gli idrogeni dei gruppi OH vengono sostituiti dai gruppi nitro, ottenendo il gruppo O-NO<sub>2</sub>.

### ***Da come mi dici si è certi di ottenere il massimo grado di nitratura?***

In realtà no, la reazione, se è banale dal punto di vista chimico, non lo è se si considera la resa in termini di prodotto finale. Si devono stabilire le corrette condizioni di temperatura e tempi affinché si ottenga la più alta percentuale di trinitroglicerina, altrimenti si potrebbe avere una miscela di mono- e dinitroglicerina che hanno potere esplosivo inferiore.

### ***Però se si ottiene la trinitroglicerina allora abbiamo un solo composto!***

Anche questa volta ti devo deludere e rispondere di no. Questo perché, ammesso che si ottenga il 100% di trinitroglicerina, si possono avere due isomere. Per isomeri, in questo caso specifico, si intende due composti chimici con la stessa formula chimica e proprietà chimiche, ma che cristallizzano in due sistemi cristallini diversi e con due punti di solidificazione diversi; per cui il punto di fusione della nitroglicerina di 8°C è esattamente la media dei due isomeri, 5 e 13°C.

### ***Ora che ci hai introdotto la chimica, ci racconti qualcosa della storia della nitroglicerina?***

Allora direi di iniziare dal suo inventore, che è stato Antonio Sobrero, un chimico di Torino che nel 1846 scopre la sua formulazione. Subito si presenta instabile e pericolosa e non avendo sussidi da parte del governo di allora decide di non proseguire con gli studi. Ma decide di inviare il suo campione in Svezia, a Nobel.

### ***Ah sì, il famoso Alfred Nobel!***

Mi dispiace deluderti di nuovo, ma si tratta di Immanuel, padre di Alfred! Era il 1863 quando Immanuel apre la prima fabbrica di nitroglicerina ad Helenborg, nei pressi di Stoccolma. Come detto prima però, questo esplosivo era molto instabile e difatti un anno più tardi, il figlio di Immanuel e fratello di Alfred, Emil, muore in un'esplosione.

### ***Ma scusa, ed Alfred quando entra in scena?***

Proprio con la morte di Emil, in quanto si mette a studiare un modo per stabilizzare la nitroglicerina ed in maniera quasi fortuita (io direi, come spesso accade per le grandi invenzioni) scopre che la farina fossile, ovvero gli scheletri di diatomee polverizzati, può assorbire fino al 75% in peso della nitroglicerina. In questa maniera è nata la dinamite.



***Vorrei però ritornare alla nitroglicerina che è il clou di questa puntata. Ci racconti qualcosa delle sue proprietà?***

Ok, vada per le proprietà fisiche! È un liquido pesante, giallognolo, insolubile in acqua e molto velenoso. Quando esplode la temperatura locale sale fino a 4.000°C e la velocità di esplosione è di circa 8.000 m/s. Ed ha una peculiarità dovuta proprio al suo grado di nitratura.

***Quale? Sono curiosa!***

La nitroglicerina, diciamo quella che funziona, per capirsi, è la trinitroglicerina, quindi con tre gruppi nitro. Se facciamo un bilancio del numero di ossigeni presenti e del numero di carboni ed idrogeni che sono il combustibile, scopriamo che c'è più ossigeno di quello che serve! Quindi la nitroglicerina viene mescolata ad altre sostanze per aumentarne il potere esplosivo.

***Ci fai un esempio di queste miscele particolari?***

Che brava, hai usato il termine miscela che è corretta, sarebbe stato forse più naturale dire miscuglio. Ad ogni modo un esempio è proprio la dinamite, ma non quella citata prima a base di farina fossile, che è detta a base passiva. Piuttosto quella dinamite detta a base esplosiva, in quanto si mescola la nitroglicerina con un altro esplosivo con deficit di ossigeno. Un esempio è la balistite, che si ottiene mescolando la nitroglicerina con il fulmicotone.

***Fulmicotone? Che nome divertente e strano, ma cos'è?***

Il fulmicotone è un altro esplosivo di tipo chimico ed in particolare nitrico. Come si capisce dal nome è un composto che si ottiene per nitratura del cotone, più esattamente della cellulosa, che è il componente del cotone.

***Ritornando alla nitroglicerina, ci sono delle applicazioni non esplosive?***

Certo, ce ne sono eccome! Mi vengono in mente ad esempio la cura dell'angina pectoris, vale a dire per le deficienze del muscolo cardiaco. Oppure le creme per l'osteoporosi.

***E come fa la nitroglicerina a curare queste patologie?***

Nel primo caso la nitroglicerina viene presa per via orale e a causa della sua dissociazione in monossido di azoto, le vene o arterie si allargano permettendo un buon flusso del sangue. Tuttavia, il meccanismo di come la nitroglicerina possa curare questa patologia fu chiarito solo negli anni '80. Sempre a causa dell'ossido di azoto, la crema alla nitroglicerina spalmata nelle zone con bassa densità ossea scatena delle reazioni interne che rigenerano velocemente le cellule e ne aumentano la densità. In questo caso il meccanismo non è certo, ma sembra la spiegazione più plausibile. È paradossale che la cura delle persone sia possibile grazie a una sostanza in realtà nociva per l'uomo.

***E quale?***

Alfred in vecchiaia soffriva di forti dolori al petto dovuti ad un'insufficienza cardiaca, l'angina pectoris citata prima. Lui si ricordava dei forti mal di testa che la nitroglicerina gli scatenava quando si trovava nella sua azienda. Aveva quindi intuito la capacità vasodilatatoria del monossido d'azoto e fu il primo ad indicarlo come metodo terapeutico in caso di dolori al petto. Ma proprio perché si ricordava molto bene di questi tremendi mal di testa, si oppose alla cura sul suo corpo!

***Direi che è la dose a rendere una sostanza nociva.***

*“Omnia venenum sunt: nec sine veneno quicquam existit. Dosis sola facit, ut venenum non fit”* Secondo il medico Paracelsus, difatti: “Tutto è veleno e nulla esiste senza veleno. Solo la dose fa in modo che il veleno non faccia effetto”. Ma pensa, possiamo parlare anche di un altro paradosso che è legato ad Alfred Nobel!

***Vorrei concludere con una nota personale: esplosivo spesso è associato alla guerra ed alla morte, ma oggi ci hai fatto capire che la chimica degli esplosivi è un terreno scientifico molto fertile e con molte cose da scoprire.***

Dici bene Donatella, non si deve aver paura di trattare la teoria di cose un poco oscure. Sta all'uomo rendere una cosa affascinante o pericolosa. Difatti le attività umane, come il volto di Giano, sono tutte bifronti..

# Un cigno ai raggi X

Dott. Alex Casanova

---

Titolo: ***Cygnus X-1 (Book I)***

Autore: *Rush*

Album: *A Farewell to Kings*

Anno di pubblicazione: 1977

Durata: 10' 21"

---

*In the constellation of Cygnus*

*There lurks a mysterious, invisible force*

*The Black Hole*

*Of Cygnus X-1*

*Six Stars of the Northern Cross*

*In mourning for their sister's loss*

*In a final flash of glory*

*Nevermore to grace the night...*

1

*Invisible*

*To telescopic eye*

*Infinity*

*The star that would not die*

*All who dare*

*To cross her course*

*Are swallowed by*

*A fearsome force*

*Through the void*

*To be destroyed*

*Or is there something more?*

*Atomized --- at the core*

*Or through the Astral Door ---*

*To soar...*

2

*I set a course just east of Lyra*

*And northwest of Pegasus*

*Flew into the light of Deneb*

*Sailed across the Milky Way*

*On my ship, the 'Rocinante'*

*Wheeling through the galaxies,*

*Headed for the heart of Cygnus*

*Headlong into mystery*

*The x-ray is her siren song*

*My ship cannot resist her long*

*Nearer to my deadly goal*

*Until the Black Hole ---*

*Gains control...*

3

*Spinning, whirling,*

*Still descending*

*Like a spiral sea,*

*Unending*

*Sound and fury*

*Drowns my heart*

*Every nerve*

*Is torn apart....*

## ***Oggi ci proponi una canzone dei Rush, giusto Alex?***

Esatto, un brano dei Rush, un gruppo canadese nato nel 1968 che ha avuto un grande successo nella seconda metà degli anni '70 e che ancora oggi è attivo con un album pubblicato nel 2012.

### ***Che brano hai scelto di questo gruppo?***

Il brano, di cui abbiamo ascoltato una parte, si intitola “Cygnus X-1”. È un brano complesso e molto lungo che rappresenta il periodo “progressive” dei Rush; siamo nella seconda metà degli anni '70 e il gruppo si ispira a band di riferimento per il rock progressivo dell'epoca, come Yes, Van der Graaf Generator o King Crimson.

### ***Hai detto che la canzone è molto complessa; in che termini?***

“Cygnus X-1” è un brano lungo circa 28 minuti diviso in due parti principali: la prima parte, intitolata “Il Viaggio”, è inserita nell'album “A Farewell to Kings” del 1977 mentre la seconda parte, intitolata “Emisferi”, si trova nell'album omonimo pubblicato l'anno successivo. Inoltre ogni singola parte è ulteriormente suddivisa in capitoli: la prima parte è divisa in un prologo, più tre capitoli, mentre la seconda parte è divisa in un preludio, più cinque capitoli.

### ***... e di cosa parla la canzone che abbiamo ascoltato oggi?***

La prima parte di “Cygnus X-1” parla di un viaggio, il viaggio dell'astronave “Rocinante” verso la costellazione del Cigno all'interno del quale si trova un buco nero. È il prologo ai successivi capitoli dove i Rush descrivono le proprietà fisiche del buco nero e il loro progressivo avvicinamento a questo misterioso oggetto; la prima parte si conclude con l'astronave che attraversa il buco nero e con l'immagine dei corpi lacerati dal suo intensissimo campo gravitazionale.

### ***Una prima domanda riguarda la natura dei buchi neri; brevemente, cosa sono?***

I buchi neri sono i protagonisti di molte canzoni, basta pensare per esempio ai Soundgarden o ai Muse. Ne abbiamo già parlato, ma, molto brevemente, i buchi neri sono oggetti previsti dalla Teoria della Relatività Generale caratterizzati da un intenso campo gravitazionale, come detto. Sono una particolare configurazione dello spaziotempo corrispondente ad una regione all'interno della quale è possibile entrare, ma da dove non si può uscire. La forza invisibile di cui parlano i Rush nel loro prologo non è altro che la forza di gravità nella sua massima espressione.

### ***Il titolo del brano, “Cygnus X-1”, sembra un termine tecnico; a cosa si riferiscono i Rush?***

In effetti è un termine tecnico. I Rush si riferiscono ad uno dei primi “avvistamenti” di un buco nero. Siamo nei primi anni '70, pochi anni prima che i Rush scrivessero la loro canzone. Nella costellazione del Cigno gli astronomi studiavano una particolare sorgente di raggi X; grazie a diverse osservazioni giunsero alla conclusione che al centro di quella emissione di raggi X ci fosse un buco nero.

### ***Vorrei capire meglio: hai parlato di sorgente di raggi X, gli stessi raggi X che facciamo in ospedale?***

Assolutamente sì. I raggi X costituiscono una banda dello spettro elettromagnetico, cioè sono onde elettromagnetiche con una certa frequenza, ossia con certe particolari caratteristiche fisiche. Sono onde elettromagnetiche anche la luce che vediamo con i nostri occhi o le onde radio che permettono ai nostri ascoltatori di sentirci. Sono altre bande dello spettro elettromagnetico. Ciò che distingue i raggi X dalla luce visibile è appunto la frequenza dell'onda; questa frequenza si associa

all'energia trasportata delle stesse onde e i raggi X sono molto più energetici delle onde radio o della luce visibile. In altre parole, i raggi X trasportano più energia delle onde radio o della luce che siamo abituati a vedere con i nostri occhi.

### ***Quindi i raggi X sono associati a fenomeni molto energetici...***

Esattamente. I raggi X vengono prodotti da fenomeni molto violenti ed energetici. Per esempio, i gas caldi fino a temperature di centinaia di milioni di gradi, i campi gravitazionali più intensi, le esplosioni più violente. Osservare il cielo attraverso i raggi X ha contribuito alla scoperta di nuovi fenomeni, ha aperto una nuova finestra sull'Universo che fino agli anni cinquanta era limitata alla luce visibile. Ma l'osservazione dei raggi X non è banale.

### ***In che termini Alex?***

A differenza della luce visibile, i raggi X vengono filtrati dalla nostra atmosfera; per poter effettuare delle osservazioni è necessario imbarcare i rilevatori su razzi o satelliti. E così fu fatto negli anni sessanta, quando le prime sorgenti di raggi X furono scoperte grazie a strumenti installati su razzi sonda che permettevano osservazioni del cielo della durata di pochi minuti. Qualche anno più tardi vennero attrezzati i primi satelliti per uno studio approfondito del cielo nei raggi X; ma questa è un'altra storia.

### ***Ritorniamo alla storia dei satelliti dedicati allo studio del cielo nei raggi X. Vuoi dirci qualcosa in più Alex?***

Il primo satellite dedicato a questo tipo di osservazione del cielo ha un nome molto suggestivo: UHURU, che significa "libertà" in lingua swahili. Questo perché il lancio avvenne da una piattaforma al largo delle coste del Kenia nel giorno del settimo anniversario dell'indipendenza di questo stato. Era il 24 maggio 1970 e uno dei protagonisti di quella missione fu un italiano.

### ***Di chi si tratta?***

Si tratta di Riccardo Giacconi, che in quegli anni dirigeva il progetto del satellite UHURU. Giacconi nacque a Genova nel 1931; studiò a Milano, dove si laureò nel 1955 sotto la supervisione di Beppo Occhialini. Si trasferì poi negli Stati Uniti dove continuò la sua carriera di ricercatore e docente, coronata dal successo del Nobel nel 2002 proprio per i suoi studi pionieristici nel campo dell'astronomia che lo portarono alla scoperta delle sorgenti cosmiche di raggi X, tra le quali anche la Cygnus X-1 di cui parlano i Rush.

### ***Siamo tornati a parlare di buchi neri... come si lega l'emissione di raggi X ai buchi neri?***

Un buco nero non emette luce direttamente, ma può rendersi visibile tramite gli effetti dell'intenso campo gravitazionale che lo contraddistingue. Un buco nero può attrarre con la sua forza di gravità il gas di una stella compagna; mentre cade verso il buco nero, il gas subisce una forte accelerazione accompagnata da compressione e riscaldamento. Raggiungendo temperature anche di centinaia di milioni di gradi, il gas emette luce soprattutto nella banda dei raggi X. È questo bagliore nei raggi X che rende visibile, sebbene in modo indiretto, un buco nero.

### ***Come si arrivò a dedurre allora la presenza di un buco nero come sorgente di Cygnus X-1?***

Dopo la scoperta della sorgente di raggi X nella costellazione del Cigno, gli astronomi approfondirono i loro studi osservando la presenza di una stella orbitante attorno a questa sorgente. Era una stella molto grande, con una massa di circa 25 volte la massa del Sole. Si dedusse così che la sorgente dei raggi X doveva essere un oggetto massiccio, ma non luminoso, cioè non in grado di emettere luce visibile come la stella compagna. Da ulteriori analisi si arrivò alla conclusione che questo oggetto non luminoso doveva avere una massa di circa 8-10 masse solari, compatibile con le teorie sulla formazione dei buchi neri. Cygnus X-1 diventò così il primo serio candidato al rango di buco nero. In altre parole, la prima osservazione indiretta di questi enigmatici oggetti celesti.

### ***Da allora ci sono state altre osservazioni?***

Numerose. Il buco nero di Cygnus X-1 è un buco nero di taglia stellare. In realtà, con il progresso tecnologico, lo sviluppo dell'astronomia osservativa è stato notevole: nuovi telescopi, nuovi satelliti in grado di osservare il cielo anche nelle altre bande dello spettro elettromagnetico, come, per esempio, l'infrarosso o l'ultravioletto. Questo ha permesso nuove scoperte e la possibilità di combinare numerose informazioni. Oggi sono stati osservati buchi neri di taglia molto più grande, al centro di complesse dinamiche che coinvolgono gruppi di stelle o addirittura galassie; anzi, si pensa che molte galassie, compresa la nostra Via Lattea, siano caratterizzate da un buco nero centrale con una massa pari a decine di milioni di masse solari.

### ***Quindi i buchi neri continuano ad essere al centro dell'attenzione?***

Decisamente sì; chiudo citando i Rush: dai buchi neri è difficile scappare e i raggi che emettono per rendersi visibili costituiscono una sorta di ammaliante canto delle sirene.