



ATTUALITÀ PER LA CLASSE

Mari sempre più alti

di **Tiziana Moriconi**

- Con scheda didattica di **Antonio Varaldo**

2

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

Rifugiati del clima

di **Tiziana Moriconi**

8

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

Aiuto, è cancerogeno. Forse

di **Roberta Villa**

- Con scheda didattica di **Monica Menesini**

10

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

La fisica che fa bene

di **Nicoletta Protti**

- Con scheda didattica di **Francesca E. Magni**

17

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

L'enorme "occhio" cinese sulle stelle

di **Giovanni Anselmi**

- Con scheda didattica di **Francesca E. Magni**

23

IDEE E STRUMENTI PER INSEGNARE

Il CLIL per la biologia

di **Monica Menesini**

31

STORIE DI SCIENZA

Il gusto del pH

di **Vincenzo Guarnieri**

- Con scheda didattica di **Vincenzo Guarnieri**

36

STORIE DI SCIENZA

I frattali tra estetica e matematica

di **Giovanna Guidone**

42

SEGNALAZIONI

Scienza da non perdere

di **Valentina Murelli**

46

Mari sempre più alti

di **Tiziana Moriconi**

Il livello di mari e oceani sta salendo e continuerà a innalzarsi: tra 30 e 100 centimetri entro la fine del secolo. E forse di più: tutto dipenderà dal comportamento dei ghiacci antartici.



Che aspetto avrà la Terra se il livello dei mari continuerà a crescere?

«**E**rano gli anni dopo lo scioglimento delle calotte polari a causa dell'effetto serra e gli oceani si erano alzati sino a inabissare molte città lungo le coste del mondo. Amsterdam, Venezia, New York... perdute per sempre. Milioni di persone furono sradicate dalle loro case.»

È il prologo di *A.I. - Intelligenza artificiale*, film del 2001 diretto da Steven Spielberg e basato su un progetto di Stanley Kubrick, ambientato in un futuro fortemente segnato dai cambiamenti climatici. A 16 anni dalla sua uscita, la domanda su quanto tale futuro sia probabile e prossimo è

ancora al centro di studi e controversie.

Di quanto si alzerà il livello degli oceani se la temperatura globale media continuerà ad aumentare, fino a superare di 2 °C quella dell'epoca preindustriale (considerato il limite massimo consentito per evitare le conseguenze più estreme e pericolose del riscaldamento globale)? Come cambierà l'aspetto della Terra? Cominciamo con il dire che una risposta "certa" non c'è. Ci sono, piuttosto, molti modelli che mostrano i possibili scenari, con diversi intervalli di errore e di incertezza.

SEMPRE PIÙ SU

Se del domani non v'è certezza, quello che è successo fino a oggi lo conosciamo abbastanza bene, grazie ai dati dai satelliti e dalle boe di misurazione, agli studi sul paleoclima, a quelli archeologici e geologici. Il rapporto del 2014 dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (Ipc: link.pearson.it/61989E52) riporta che tra il 1901 e il 2010, il livello globale degli oceani si è alzato in media di 19 centimetri, cioè circa 1,7 millimetri all'anno (sempre in media). Sappiamo anche che la velocità di questo innalzamento sta aumentando: tra il 1993 e il 2010 è stata di 3,2 millimetri all'anno. Ovviamente, l'aumento del livello del mare a livello locale può essere maggiore o minore di quello globale, perché altri fenomeni entrano in gioco, come le fluttuazioni della circolazione oceanica e i fenomeni geologici di innalzamento o abbassamento del terreno. Per esempio, nella parte ovest del Pacifico, l'aumento del livello del mare è stato tre volte superiore alla media, mentre a est è stato pari a zero, se non negativo. Per quanto riguarda i prossimi 90 anni, la comunità scientifica è sostanzialmente concorde nel dire che il livello globale continuerà ad aumentare, e ad una velocità maggiore: per l'Ipc, tra il 2081 e 2100 il tasso stimato è di 8-16 millimetri all'anno.

PERCHÈ IL MARE SALE

Le cause dell'aumento del livello dei mari si contano sulle dita di una mano. Una è la fusione dei ghiacciai montani, che però contribuisce in modo modesto. Molto più importante è la dilatazione termica dell'acqua: la maggior parte del calore dell'atmosfera, infatti, viene trasferita agli oceani, che si riscaldano. Come conseguenza l'acqua si dilata, esattamente come fa il mercurio in un termometro: a parità di massa, quindi, occupa più volume. Ancora, bisogna considerare la fusione del ghiaccio marino artico, sebbene sia un ghiaccio già galleggiante sul mare e non sulla terraferma, e quindi le sue variazioni incidano poco sul livello globale dei mari. Gli scienziati conoscono bene questi tre fenomeni, ma ce n'è un quarto sul quale invece grava un punto interrogativo: come si comporteranno le imponenti masse ghiacciate dell'Antartide e della Groenlandia, immense riserve di acqua dolce (in Antartide vi è il 90% dell'acqua dolce del pianeta), con l'aumentare della temperatura dell'atmosfera e degli oceani? In particolare, i ghiacci dell'Antartide si stanno consumando sia alla base che sulla superficie, ma il loro comportamento è tutt'altro

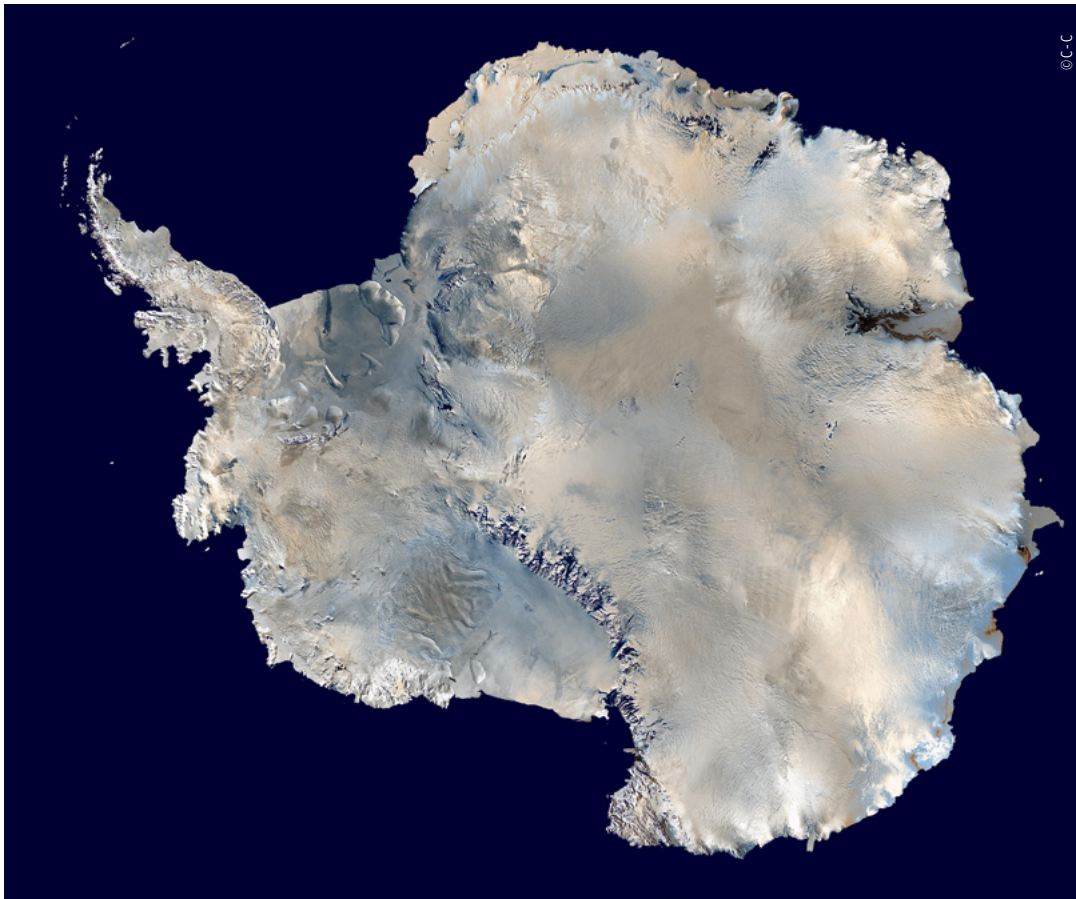


Il ghiacciaio del Glacier Peak (Washington, Stati Uniti) nel 1973 e nel 2006: anche la fusione dei ghiacciai montani incide sul livello dei mari

che scontato. Insomma, è facile dire che più le temperature aumenteranno, più i ghiacci si scioglieranno, ma il punto è capire in che modo, quali ghiacci, quanto contribuiranno, in quanto tempo. E se esista un "punto di non ritorno". Questo per cominciare, senza contare decine di altri fenomeni. La complessità non è ridicibile: è la scienza, bellezza.

UN FENOMENO STORICO

Prima di addentrarci tra i possibili scenari, va fatta una premessa: la variazione del livello dei mari è un fenomeno che ha sempre accompagnato la storia del nostro pianeta. La conformazione che hanno oggi le terre emerse non è la stessa di 20 000 anni fa, nel pieno dell'ultima era glaciale, quando l'Europa e l'Asia del centro-nord erano coperte dai ghiacci. In quel periodo, il livello del mare era circa 120 metri più basso rispetto a oggi. Al contrario, nell'ultimo periodo interglaciale (129 000 - 116 000 anni fa) era tra i 5 e i 10 metri



© C-C

L'Antartide è tra le principali riserve di acqua dolce del nostro pianeta e si sta gradualmente consumando

più alto. Il livello dei mari è quindi mutato più volte, facendo o meno emergere parti della superficie terrestre, consentendo o impedendo così il passaggio su di esse degli animali terrestri (*Homo sapiens* compreso). La novità, rispetto al passato, è che l'innalzamento che si sta verificando in questi ultimi tempi è dovuto all'aumento delle temperature legate alle attività antropiche, in particolare all'aumento dei gas serra.

FUTURI POSSIBILI

In questi anni i ricercatori hanno elaborato molti modelli. Le previsioni dell'Ipcc per la fine del secolo (2100) presentano una forbice che va da 30 centimetri a oltre un metro, un intervallo che dipende dai diversi scenari di emissione di CO₂ considerati e dall'incertezza nelle proiezioni. Nel 2016, però, un importante studio su *Nature* (link.pearson.it/F891CFE8) ha avanzato un'ipotesi peggiore. «Il nuovo modello ha considerato per la prima volta alcuni fenomeni che possono portare a un coinvolgimento maggiore di quanto finora pensato del ghiaccio antartico», spiega Stefano Caserini, docente di mitigazione dei cambiamenti climatici del Politecnico di Milano: «Sul lungo periodo – quindi non tra due decenni, ma tra secoli – è stato stimato che la fusione

dei ghiacci della Groenlandia potrà contribuire all'innalzamento dei mari in modo significativo. La completa fusione di questi ghiacci potrebbe far salire il livello di sette metri; perdere anche solo un quinto dei ghiacci comporterebbe quindi un contributo di un metro e mezzo.

Per quanto riguarda l'Antartide, il discorso è complesso, perché è un continente immenso che si può considerare composto di due parti con caratteristiche diverse: la parte est e la parte ovest. La prima presenta ghiacci spessi 3 o 4 chilometri: la loro fusione potrebbe contribuire per circa 70 metri all'innalzamento dei mari, ma queste masse difficilmente possono essere intaccate, dal momento che le loro temperature si aggirano intorno a 50 gradi sotto zero. La parte ovest è quella che preoccupa di più, perché lì i ghiacci sono meno spessi e più sensibili all'aumento delle temperature atmosferica e dell'acqua. In caso di completa fusione, la piattaforma glaciale occidentale dell'Antartico potrebbe contribuire per circa 6 metri. Significa che, complessivamente, il mare potrebbe innalzarsi di oltre 15 metri entro il 2500, se nei prossimi decenni le emissioni dei gas serra continueranno ad aumentare».

SCENARI D'ITALIA

Insomma, quello dell'innalzamento del mare è un problema complesso e chi cercasse un numero preciso e univoco per la crescita futura non lo troverebbe. E quello che vale in generale vale anche per l'area mediterranea. «Considerando le incertezze attualmente presenti, i valori previsti per l'innalzamento globale costituiscono linee guida utili anche per il futuro del Mediterraneo», spiega Piero Lionello, professore di fisica dell'Atmosfera e Oceanografia all'Università del Salento e ricercatore del Centro euro-mediterraneo sui cambiamenti globali. «Però, bisogna tenere conto che a livello locale esistono molte fonti di variabilità e il livello del mare rispetto alle terre emerse dipende anche da fattori che non necessariamente hanno a che fare con il clima. Le superfici continentali, infatti, sono a loro volta soggette a moti verticali, quali fenomeni tettonici, di isostasia (il "galleggiamento" della crosta terrestre sul mantello, NdR) e subsidenza a scala locale (lento abbassamento prodotto da cause quali sfruttamento eccessivo delle falde acquifere, estrazione di idrocarburi e così via, NdR).» Tenute in debito conto queste variabili, un gruppo di una quindicina di esperti in varie discipline – dalla geofisica alla climatologia, alla oceanografia – ha applicato le proiezioni dell'Ipcc per il 2100 alle coste italiane all'interno di un sistema informativo geografico (Gis), simulando la "trasgressione" del mare nello scenario più conservativo (innalzamento minimo di 50 centimetri) e in quello più estremo (innalzamento massimo di 140 centimetri). Il loro studio è stato pubblicato su *Quaternary Science Reviews* (link.pearson.it/11F26ADD).



L'innalzamento delle acque, in Italia, colpirà in particolare l'area dell'Adriatico settentrionale

«All'innalzamento del mare abbiamo aggiunto i valori isostatici e quelli tettonici, ottenendo aumenti differenti per diverse piane, compresi tra 51,6 e 142,8 centimetri», spiega Fabrizio Antonioli, geologo e ricercatore dell'Enea, primo autore dello studio. «Lo scenario peggiore lo troviamo tra Trieste, Venezia e Ravenna, dove stimiamo che il mare salirà di oltre un metro. L'area costiera dell'Adriatico settentrionale è particolarmente a rischio, perché qui vaste porzioni di costa tendono ad abbassarsi. Secondo i modelli, l'innalzamento atteso cambierà in modo drammatico la morfologia delle nostre coste e, potenzialmente, potrebbero finire sotto l'acqua 33 aree, per un totale di 5500 chilometri quadrati.» ●

PER APPROFONDIRE

- Carbonara K. e Murelli V., *Piccoli fossili marini per studiare il clima che cambia*, in *Science Magazine* n. 15. link.pearson.it/66F55A4B
- Greco P., *L'accordo di Parigi sul clima: impegni e prospettive*, in *Science Magazine* n. 10. link.pearson.it/8F96FF7E
- *Surging Seas*, sito web tutto dedicato all'innalzamento dei mari di Climate Central. link.pearson.it/FFFC0BF1
- *Before the flood*, documentario sul cambiamento climatico, prodotto da Leonardo di Caprio, 2016. link.pearson.it/88FB3B67

ANNI CALDI

Gran parte del riscaldamento superficiale atmosferico registrato da quando sono cominciate le misurazioni moderne, nel 1880, si è verificato negli ultimi 35 anni, e in particolare dal 2001. Nel momento in cui scriviamo, l'anno più caldo di questo lungo periodo è stato il 2016, con 1,1°C in più rispetto alla fine del 1800 e 0,99°C in più rispetto alla metà del 1900. Lo riportano due importanti enti di ricerca americani, la Nasa e la National Oceanic and Atmospheric Administration (Noaa), che hanno condotto analisi indipendenti. È stato anche il terzo anno di seguito a infrangere il record degli aumenti, e il trend è chiaro. Siamo circa a metà del percorso che porta verso quei famosi 2°C di troppo, al centro dell'accordo sul clima firmato da 195 paesi a Parigi a fine 2015.

Tiziana Moriconi
giornalista scientifica, collabora con Galileo, Le Scienze, D la Repubblica online, Wired.it.



Scheda Didattica / Mari sempre più alti

di **Antonio Varaldo**

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Il clima terrestre è da sempre soggetto a grandi cambiamenti; anche nell'era geologica attuale - il cosiddetto Quaternario, corrispondente agli ultimi 2,6 milioni di anni - si sono alternati periodi molto freddi ad altri molto caldi. Completa il brano seguente sulle cause della variabilità climatica scegliendo i termini appropriati tra quelli elencati:

inclinazione - radiazioni - astronomici - sferica - autotrofe
- ellittica - geologici - antropiche

La variabilità del clima terrestre ha le sue cause primarie in fenomeni ~~~~~ che si svolgono con periodicità millenaria. La dinamica che lega la Terra al Sole - caratterizzata sostanzialmente da un'orbita ~~~~~ annuale durante la quale l'asse terrestre mantiene la sua tipica ~~~~~ - risente infatti di alcune alterazioni che possono determinare effetti sommativi di accentuazione oppure di riduzione dell'insolazione, con particolari conseguenze alle latitudini medio-alte con climi temperati-freddi. Ulteriori fattori di alterazione climatica sono le attività ~~~~~ che in vario modo nell'ultimo secolo hanno determinato un incremento dei gas serra, ossia di quelle sostanze atmosferiche che trattengono le ~~~~~ in uscita dal sistema terrestre verso lo spazio.

2. In che cosa consiste il meccanismo della precessione degli equinozi, il principale dei moti millenari?

3. Perché la fascia critica per le variazioni climatiche è quella di latitudini medio-alte?

4. Quali sono le principali sostanze che svolgono l'azione di gas serra nell'atmosfera terrestre?

5. Come hai letto nell'articolo, l'innalzamento del livello del mare osservato ha varie cause, e altre non citate sono ugualmente note. Aiutandoti con la consultazione del Web, per ciascuna delle frasi seguenti scegli il termine corretto tra i due proposti.

a. L'acqua di fusione che contribuisce all'innalzamento del livello del mare proviene soprattutto da *banchise/inlandsis*.

b. Il riscaldamento globale delle acque oceaniche ne determina una dilatazione *termica/cinetica* con conseguente aumento di volume.

c. Il riscaldamento globale è *accentuato/limitato* dalla riduzione stessa della superficie riflettente dei ghiacciai.

6. Considera ora il fenomeno ordinario della variazione di breve periodo del livello delle acque marine e riepiloga le sue cause naturali, precisandone i dettagli principali.

7. Per quanto riguarda l'Italia, gli studiosi hanno ipotizzato scenari futuri sull'innalzamento del livello del mare considerando le diverse variabili in gioco rispetto all'ambito dell'attività tettonica. Rispondi alle seguenti domande, consultando se necessario il tuo libro di Scienze della Terra.

a. In che cosa consiste il meccanismo dell'isostasia, e in quali casi si evidenzia?

b. Che cosa significa il termine subsidenza? Qual è la differenza rispetto al termine simile subduzione?

c. Che cosa si intende con il termine trasgressione? Qual è il suo contrario?

8. Vari enti e organismi si occupano dei problemi connessi con il cambiamento climatico, come l'innalzamento del livello del mare. Effettuando opportune ricerche sul Web, indica accanto a ogni sigla della tabella il corrispondente nome dell'ente e la funzione svolta.

| ENTE | NOME PER ESTESO | FUNZIONE |
|--------|-----------------|----------|
| IPCC | | |
| UNFCCC | | |
| COP-21 | | |
| NOAA | | |

Scheda Didattica / **Mari sempre più alti**

di **Antonio Varaldo**

RISPOSTE

1. astronomici - ellittica - inclinazione - antropiche - radiazioni.
2. L'asse terrestre si muove come una trottola - cioè descrive un doppio-cono - e di conseguenza i punti corrispondenti a solstizi ed equinozi traslano lentamente lungo l'orbita ellittica.
3. Perché le precipitazioni invernali sono frequentemente nevose e i ghiacci formati possono conservarsi nelle estati o fondere, a seconda che queste siano più o meno fresche.
4. Il vapore d'acqua (H₂O), il biossido di carbonio (CO₂) e il metano (CH₄), in ordine di importanza.
5. **a.** inlandsis; **b.** termica; **c.** accentuato.
6. Il livello del mare varia anzitutto per le maree, che sono oscillazioni periodiche tipiche di ogni bacino dovute all'attrazione della Luna; in secondo luogo le correnti oceaniche caratteristiche di ogni settore possono accentuarsi o attenuarsi momentaneamente; infine, la differente pressione atmosferica, cioè dell'aria sovrastante, incide comprimendo o meno l'acqua.
7. **a.** La litosfera - cioè crosta e parte sommitale solida del mantello - galleggia sulla sottostante astenosfera e, perciò, i suoi alleggerimenti o appesantimenti in superficie si ripercuotono sulle parti profonde. Per esempio, l'erosione delle rocce e la fusione dei ghiacciai alleggerisce la crosta e, in risposta, la litosfera risale per "assestamento isostatico".
b. La subsidenza è lo spostamento verticale di un settore crostale, magari dovuto al consolidamento del sottosuolo o allo svuotamento di parti profonde (falde, magmi...). La subduzione è invece il fenomeno nel quale una placca litosferica si immerge scivolando lateralmente al di sotto di un'altra.
c. La trasgressione è l'invasione di un settore continentale da parte delle acque marine, dovuta all'innalzamento del livello e/o alla subsidenza; quando il mare si ritira, liberando terre che così emergono, si parla invece di "regressione".

8.

| ENTE | NOME PER ESTESO | FUNZIONE |
|--------|---|---|
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| UNFCCC | United Nations Framework Convention on Climate Change | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| COP-21 | XXI Conferenza delle Parti | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration | National Oceanic and Atmospheric Administration |

Antonio Varaldo

è naturalista e fotografo; insegnante liceale, come divulgatore ha collaborato a Tuttoscienze, alle enciclopedie UTET e Repubblica, e con l'agenzia ITCILO dell'ONU. È autore di *Scienze per la Terra* (Pearson Italia, 2017).



Rifugiati del clima

di **Tiziana Moriconi**

In molte aree del mondo, i cambiamenti climatici mettono a rischio la vita delle popolazioni, che, di conseguenza, sono costrette a spostarsi. Non conosciamo i numeri esatti del fenomeno, ma sappiamo che è ingente.



Vista aerea del villaggio di Kivalina

Gennaio 2016, Stati Uniti. Il Dipartimento della casa e dello sviluppo urbano annuncia un finanziamento di un miliardo di dollari in 13 Stati, per aiutare le comunità locali ad adattarsi ai cambiamenti climatici, costruendo argini migliori, dighe e sistemi di drenaggio. Di questi, 48 milioni sono destinati all'Isle de Jean Charles, una stretta striscia di terra in Louisiana abitata da una sessantina di nativi americani, per un'operazione che non si era mai resa necessaria prima di allora in America: spostare altrove l'intera comunità.

Il mare si è preso la terra e queste 60 persone vengono ora chiamate climate refugees. È tra i primi progetti al mondo di questo genere, come racconta un interessante progetto del New York Times (link.pearson.it/184426F6).

TERRITORI A RISCHIO

La Louisiana perde circa 65 chilometri quadrati ogni anno, ma non è il solo luogo dove il mare sta invadendo la terra. Il numero di persone che rischiano di diventare migranti forzati del clima

è difficile da definire; si stima però che tra i 50 e i 200 milioni saranno costretti a spostarsi per via di disastri ambientali nei prossimi 35 anni.

Solo in Bangladesh si parla di 20 milioni di persone: metà della popolazione vive a meno di 5 metri sul livello del mare e nel 2050 il 17% delle terre potrebbe non essere più abitabile.

Le Maldive costituiscono la nazione più a rischio: l'altezza sul livello del mare nel suo punto più alto è di appena 2,4 metri. Sia la sua economia, basata sul turismo, sia il suo habitat potrebbero essere completamente sconvolti nei prossimi decenni e tutti i suoi abitanti potrebbero trovarsi costretti a chiedere asilo altrove. Poi c'è il problema della riduzione dei ghiacci nel Nord.

In Alaska, il villaggio di Kivalina, a circa un centinaio di chilometri dal circolo polare artico, sta per scomparire: 400 persone si dovranno spostare, perché il ghiaccio si sta riducendo velocemente e sta diventando impossibile spostarsi e pescare. Presto lo stesso problema si avrà ovunque in Alaska, dove ci si aspetta che il ghiaccio sparisca entro il 2040, e in alcuni luoghi del Canada. Per quel che ci riguarda più da vicino, il 70% della popolazione italiana vive lungo i circa 7500 chilometri di costa della nostra penisola.

MIGRANTI FORZATI

«L'innalzamento dei mari darà luogo a flussi migratori ingenti. Già oggi, nel 2017, circa 40 milioni di persone vivono in aree costiere a rischio di allagamenti», dice Valerio Calzolaio, autore del libro *Ecoprofughi* (Nda Press, 2010) e, insieme al filosofo e storico della biologia Telmo Pievani, di *Libertà di migrare* (Einaudi, 2016). «Molte persone sono costrette a spostarsi, anche a causa di fenomeni meteorologici estremi, come tsunami, uragani e alluvioni, che con il riscaldamento climatico diventano più frequenti e violenti. Il numero esatto di questi ecoprofughi non si conosce, perché nessuno li conta. Secondo una stima dell'Onu, tra il 2008 e il 2014 circa 185 milioni hanno perso le proprie abitazioni a causa di disastri naturali.

Nel 90% dei casi, la causa è il clima e le aree più a rischio sono anche le più povere, come l'India, il Bangladesh e i paesi dell'Africa centrale. C'è sicuramente poca consapevolezza del fatto che questa nuova classe di migranti forzati l'abbiamo creata noi occidentali: sono vittime di decenni di comportamenti e scelte poco responsabili nei confronti del cambiamento climatico.» ●



Tra gli effetti delle catastrofi naturali c'è il fenomeno degli ecoprofughi

PER APPROFONDIRE

- *Environmentally displaced people. Understanding the linkages between environmental change, livelihoods and forced migration*, Refugee Studies Centre, Oxford Department of International Development, 2008. link.pearson.it/6F431660

Tiziana Moriconi

giornalista scientifica, collabora con Galileo, Le Scienze, D la Repubblica online, Wired.it.



Aiuto, è cancerogeno. Forse

di **Roberta Villa**

Nel 2015 ha scatenato il panico un annuncio sulla cancerogenicità di carni trasformate e carni rosse. Ma che cosa significava davvero quell'annuncio, e come si studia la cancerogenicità di una sostanza?



© Fotolia/Alexander Rath

Fumo, amianto, carni rosse sono nella stessa categoria di cancerogeni, ma comunicare correttamente questa informazione richiede un'analisi accurata

Sebbene il cancro sia una malattia sempre più curabile, solo a nominarla fa ancora paura. E tutto ciò che è “cancerogeno”, di conseguenza, determina la stessa reazione. Per questo si è scatenato il panico nell'autunno del 2015, quando l'IARC, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro, ha inserito le carni lavorate – come salumi, insaccati, wurstel e salsicce – nella stessa categoria di cancerogeni alla quale appartengono il fumo e l'amianto. Non solo: ha anche inserito tutte le carni rosse – cioè quelle bovine, suine e ovine – anche fresche, tra i fattori definiti “probabilmente cancerogeni” (qui l'articolo scientifico con i dati e la conclusione: link.pearson.it/85825768).

TRA SCIENZA E COMUNICAZIONE

Nessuna novità per gli addetti ai lavori, perché gli esperti dell'IARC non avevano fatto altro che raccogliere, esaminare e valutare i risultati di tutti gli studi condotti in passato sull'argomento, e quindi già ben noti alla comunità scientifica. Ma uno scoop per la stampa generalista. All'annuncio dell'Agenzia, che porta avanti le sue ricerche per conto dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS), fecero infatti seguito decine di articoli di giornale e servizi televisivi con titoli acchiappaclick, secondo i quali mangiare una bistecca o un panino con il prosciutto farebbe

male quanto fumare un pacchetto di sigarette o essere esposti per ragioni professionali all'amianto.

RISCHI BEN DIVERSI

Diciamo subito che non è così: è vero che il consumo di carni lavorate, e in misura minore di carni rosse, può aumentare il rischio di sviluppare certi tumori, ma non nella stessa misura con la quale incidono altri fattori. Per capirci, se chi consuma ogni giorno grandi quantità di carni rosse e lavorate ha un leggero rischio in più (quantificabile intorno a un aumento del 17%) di ammalarsi di tumore al colon rispetto a un vegetariano, un fumatore ha circa 23 volte più probabilità di un non fumatore di andare incontro a un tumore del polmone.

"NATURALE"? NON È DETTO CHE SIA MEGLIO

Invece di spiegare bene al pubblico questo punto, tutti si affrettarono a rassicurare sulle caratteristiche dell'ottima carne italiana, sui suoi altissimi standard di sicurezza e su quanto siano "naturali" i processi di produzione dei salumi nostrani. Ma non è questione di qualità: una fiorentina doc o un prezioso culatello non si distinguono, in relazione al rischio di cancro, dalla fettina del discount o dal cotto in offerta al supermercato. Fuorviante è anche il richiamo alla "naturalità" dei processi di lavorazione: molte modalità tradizionali di conservazione e trattamento degli alimenti – per esempio l'uso del sale per gli insaccati – sono almeno in parte responsabili della loro azione cancerogena, i cui meccanismi biologici sono stati in parte chiariti e in parte sono ancora oggetto di studio.

STUDIARE LE POPOLAZIONI

Ma come si riconosce che un alimento, una sostanza chimica o un altro fattore, potrebbero favorire il cancro? Nella maggior parte dei casi il primo campanello d'allarme viene da studi epidemiologici, cioè condotti su intere popolazioni nelle quali si esamina la frequenza del cancro in relazione a diverse caratteristiche, per cercare di capire se ci sono fattori che accomunano, sui grandi numeri, chi si ammala e chi no. Uno dei più importanti in questo campo si chiama EPIC (*European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition*), una ricerca che per quasi 15 anni ha raccolto informazioni su oltre mezzo milione di cittadini europei, cercando di valutare se ci poteva essere un'associazione tra le loro abitudini alimentari e la probabilità che sviluppassero un tumore. Se, per esempio, la percentuale di persone che si ammala di cancro al colon è significativamente superiore tra coloro che dichiarano di mangiare bacon tutti i giorni rispetto a chi non assume mai salumi o insaccati,

TRA CERTEZZE E RISCHI

Secondo il vocabolario della Treccani, è "cancerogeno" ciò "che produce il cancro", ma questa definizione, come viene normalmente intesa, richiede qualche precisazione. Sono pochissime infatti le situazioni capaci da sole di "produrre il cancro", cioè di esserne la causa unica, necessaria e sufficiente. Succede per alcune rarissime forme di malattie ereditarie ed è capitato in seguito a intense irradiazioni come quelle di Hiroshima e Nagasaki. In tutti gli altri casi bisogna parlare di "fattori di rischio", cioè condizioni che possono aumentare le probabilità di ammalarsi, ma senza che ciò inevitabilmente accada, così come la malattia può insorgere anche in loro assenza (si pensi al tumore del polmone nei non fumatori, per esempio). Si può quindi affermare che il virus HIV è la causa dell'AIDS, perché basta contrarre l'infezione per sviluppare la malattia, ma nello sviluppo di un tumore intervengono quasi sempre molte concause che interagiscono tra loro. Si tratta cioè di una malattia multifattoriale, come il diabete, a cui concorrono fattori genetici, ambientali e stili di vita.



Stampo nel quale il prosciutto disossato è immerso in una salamoia con aromi e conservanti: questo processo è in parte responsabile dell'azione cancerogena degli insaccati

può sorgere il sospetto che esista un legame tra le due cose.

ASSOCIAZIONE NON VUOL DIRE CAUSA

A volte si scopre che l'associazione è solo effetto del caso, come per il fatto che il tasso di divorzi nel Maine negli ultimi dieci anni sia andato di pari passo con il consumo di margarina. A volte la correlazione dipende da altri fattori comuni, come nel caso del numero di attacchi da parte degli squali, che va di pari passo con il consumo di gelati, per il semplice fatto che entrambe le cose prevalgono in estate. L'associazione tra due fenomeni non dimostra quindi che uno causa l'altro.

DALL'IPOTESI AI MECCANISMI BIOLOGICI

L'osservazione serve però a indirizzare ricerche successive, che tra le altre cose dovranno verificare anche in laboratorio se l'ipotesi è plausibile, se cioè esiste un meccanismo biologico che possa spiegare il rapporto di causa ed effetto. Se per esempio, paradossalmente, emergesse dalla margarina una sostanza che rende più irritabili,



© Shutterstock/Dragana Gordic

Il fumo è cancerogeno ed è la più importante causa di morte evitabile nella nostra società

la correlazione con il divorzio potrebbe non essere solo casuale. Nel caso delle carni lavorate, a mediare la formazione del tumore sarebbero le nitrosammine che si formano nell'organismo o durante la cottura a partire da nitrati e nitriti, usati come conservanti. Le stesse nitrosammine si possono produrre nell'intestino a partire dal gruppo eme, al centro dell'emoglobina del sangue, di cui è ricca la carne fresca, che potrebbe favorire il tumore anche per la sua azione ossidante e favorendo l'infiammazione. Grigliandola si possono poi produrre altre sostanze potenzialmente cancerogene. Sulla base delle ricerche effettuate, quindi, IARC ha classificato le carni trasformate nel gruppo 1 dei cancerogeni, insieme a tutti gli altri fattori che, in varia misura e a diverse dosi, possono sicuramente aumentare il rischio di cancro. Le carni rosse fresche, invece, sono state inserite per ora nel gruppo 2 A, dove sono elencati i fattori "probabilmente cancerogeni", perché i risultati degli studi finora esistenti sono molto indicativi in questo senso, ma non ancora inoppugnabili.

CANCEROGENO SÌ, MA QUANTO?

L'equivoco alimentato dalla stampa nasce dal criterio usato dagli esperti per questa classificazione. È istintivo infatti pensare che nel primo gruppo si trovino le sostanze più pericolose, nel secondo quelle che lo sono un po' meno, e così via. Invece, il principio in base al quale gli esperti dell'IARC inseriscono un fattore in una o nell'altra categoria non è questo, ma quello della forza delle prove a carico. In altre parole, è come se si raccogliessero nel gruppo 1 tutti gli imputati considerati colpevoli di un reato perché colti in flagrante, indipendentemente dal fatto che stessero rubando una mela in un supermercato o stessero commettendo un omicidio, nel gruppo 2 A quelli fortemente sospettati e così via, senza tener in nessun conto la gravità del reato.

Le prove, in questo caso, non sono testimoni o impronte digitali, ma risultati di lavori scientifici. Per spiegarci, secondo questa classificazione solo una sostanza, il caprolattam, utilizzato per la produzione di nylon, ha il privilegio di appartenere al gruppo 4, come "probabilmente non cancerogena". Non perché sia l'unica innocua, ma perché è la sola di cui una sufficiente quantità di ricerche ha escluso questa probabilità. Non solo: la classificazione dell'IARC non considera se la dose necessaria a favorire lo sviluppo del cancro è quella alla quale ci si può realmente esporre nella vita quotidiana, quale sia il rapporto tra rischio e beneficio dell'assunzione di una determinata sostanza (un problema che per esempio si pone per i farmaci), né se l'aumento delle probabilità di ammalarsi sia minimo o rilevante.



© C-C

L'esterno della sede dell'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro

COME SALIRE UNA SCALA

Immaginate che la formazione di un tumore dipenda dall'apertura di una porta che si trova in cima a una scala: l'esposizione a un cancerogeno può far salire uno o più gradini, avvicinando l'individuo al punto in cui una cellula si trasforma da normale in tumorale, ma è difficile che da sola basti a fargli compiere tutto il percorso. La classificazione IARC dice solo se un elemento può far salire sulla scala, senza precisare quanto ce ne vuole perché questo accada, né di quanti gradini farà avanzare. I gradini corrispondono per lo più a mutazioni del DNA, che compromettono i fini meccanismi con i quali la cellula controlla la sua tendenza a proliferare o ad estinguersi, quando necessario. Ogni giorno, in un individuo sano, si verificano migliaia di errori potenzialmente pericolosi, che però vengono prontamente corretti da sofisticati sistemi di riparazione. Se questi sono danneggiati, o il numero di mutazioni aumenta, aumenterà anche il rischio di cancro.

UN PROCESSO COMPLESSO

Non bisogna poi dimenticare che alla genesi di un tumore possono contribuire anche molti altri aspetti, primo fra tutti la predisposizione genetica individuale. E ancora, le caratteristiche del microambiente in cui si trovano le cellule, come uno stato di infiammazione cronica, o carenze del sistema immunitario, che non riesce a bloccare nelle sue fasi iniziali la comparsa della malattia, prima che diventi incontrollabile. Negli ultimi anni è, infine, emerso il ruolo di altri fattori, esterni alla sequenza del DNA e per questo detti "epigenetici", capaci di regolare l'espressione dei geni e quindi di interferire in modo significativo con la vita della cellula e l'eventuale sviluppo di malattie, tra le quali

il cancro. Nel momento in cui veniamo alla luce, quindi, non partiamo tutti dallo stesso punto della scala. Già alla nascita, alcuni presentano mutazioni del DNA o caratteristiche epigenetiche che possono favorire lo sviluppo del cancro. Viceversa, esistono anche geni che proteggono dalla malattia, molti dei quali ancora ignoti. Per inciso, è proprio per questo che, tranne in rari casi eccezionali, è difficile predire con ragionevole certezza che una persona si ammalerà di cancro sulla base di un test genetico.

STRATEGIE DI PREVENZIONE

Quel che si può fare è cercare di evitare di salire gli scalini che ci avvicinano a quella porta: ridurre sì la quantità di carni rosse e insaccati (sapendo che non sarà certo un bistecca ogni tanto a segnare il nostro destino) ma mangiare anche più frutta e verdura, controllare l'apporto calorico in modo da contrastare sovrappeso e obesità, limitare al minimo l'alcol, svolgere regolare attività fisica e soprattutto non fumare, il più importante tra i fattori di rischio per il cancro. Con ogni tiro di sigaretta si inala almeno una settantina di sostanze cancerogene, come arsenico e polonio radioattivo. ●



© Fotolia/Richard Villalon

Controllo del peso, attività fisica regolare e alimentazione ricca di fibre sono tra le principali misure preventive dell'insorgenza di tumori

PER APPROFONDIRE

- Bencivelli S. e Ovadia D., *È la medicina, bellezza!*, Carocci editore, Roma 2016.
- Grady D., *Cancer's Random Assault*, The New York Times, 5 gennaio 2015. link.pearson.it/DEA19CE1
- Mukherjee S., *L'imperatore del male. Una biografia del cancro*, Oscar Mondadori, Milano 2016.
- Yong E., *Beefing With the World Health Organization's Cancer Warnings*, The Atlantic, 26 ottobre 2015. link.pearson.it/A9A6AC77
- *Processed meat and cancer - what you need to know*, Cancer Research UK. link.pearson.it/4E1E8170
- Codice europeo contro il cancro, AIRC. link.pearson.it/3919B1E6

Roberta Villa

è medico e giornalista e da anni collabora con l'Associazione Italiana per la Ricerca sul Cancro. Sul tema oggetto di questo articolo ha scritto un libro - *Si fa presto a dire cancerogeno* - di prossima uscita per C1V editore.



Scheda Didattica / Aiuto, è cancerogeno. Forse

di **Monica Menesini**

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. VERO O FALSO?

Indica la correttezza o meno delle seguenti affermazioni, relative all'articolo che hai appena letto.

- a.** Gli alti standard di sicurezza della carne italiana ne riducono gli effetti cancerogeni. V F
- b.** Il caprolactam è l'unica sostanza che inserita nel gruppo delle sostanze probabilmente non cancerogene a qualsiasi dose. V F
- c.** Le sostanze inserite nel gruppo 1 della classificazione IARC sono cancerogene solo ad altissime dosi. V F
- d.** I farmaci possono essere cancerogeni ma vanno comunque assunti perché apportano un beneficio all'organismo. V F
- e.** Per le sostanze inserite nel gruppo 2 della classificazione IARC esistono prove sperimentali che ne dimostrano la cancerogenicità. V F
- f.** La comparsa del cancro dipende dall'interazione tra geni e ambiente. V F
- g.** La probabilità di ammalarsi di tumore legata all'assunzione di carni rosse e lavorate è molto minore di quella legata al fumo di sigaretta. V F
- 2.** Il cancro è una malattia tipicamente causata da mutazioni a livello del DNA. Le mutazioni che possono causare la trasformazione di una cellula normale in cellula tumorale riguardano 3 tipi di geni: oncogeni; geni oncosoppressori e geni coinvolti nella riparazione del DNA. Cerca in Rete informazioni sulla funzione di queste tre categorie di geni e fai un esempio per ciascuna di esse.
- 3.** Il cancro riguarda cellule che, a causa di mutazioni genetiche o alterazioni epigenetiche, hanno perso la loro capacità di controllare il ciclo cellulare. Leggi la scheda dell'Associazione Italiana per la Ricerca sul cancro all'indirizzo link.pearson.it/56C7DA06 e rispondi alle domande seguenti.
- a.** Definisci sinteticamente le fasi G_1 , S, G_2 e G_0 ;
- b.** Di che cosa ha bisogno una cellula normale, una volta superata la fase G_1 , per poter procedere nel ciclo?
- c.** In quali circostanze la cellula entra nella fase G_0 ? Quanto può durare questa fase?
- d.** Perché una cellula tumorale, anche se danneggiata, può procedere nel ciclo cellulare?
- e.** Qual è il ruolo della "proteina esaminatrice" p53 nelle cellule normali? Per rispondere a questa domanda, fai una ricerca in Rete.
- 4.** Alcune delle mutazioni genetiche che provocano proliferazione incontrollata delle cellule e, dunque, tumore, sono ereditarie, ma più di frequente esse sono provocate da fattori esterni, legati all'ambiente o allo stile di vita. Per esempio: fumo, raggi ultravioletti, alcol, tipo di alimentazione, sovrappeso e obesità, sedentarietà, inquinamento atmosferico, agenti chimici, agenti infettivi, agenti fisici. Scegli uno di questi fattori e fai una ricerca per scoprire in che modo può provocare le mutazioni alla base dell'insorgenza del tumore.
- 5.** Le mutazioni del DNA costituiscono un processo spontaneo e casuale che può avvenire sia quando la cellula duplica il suo DNA in vista della divisione, sia quando la cellula svolge le sue normali funzioni. La maggioranza di questi errori viene rilevata e riparata da un apposito macchinario cellulare. Guarda il video al link.pearson.it/21C0EA90 e rispondi alle seguenti domande.
- a.** Quali sono le 3 tipologie di danno a livello del DNA?
- b.** Con quale frequenza avviene il mismatch delle basi azotate e in quali modi può essere riparato?
- c.** Qual è una molecola naturalmente presente nelle cellule che può danneggiare il DNA?
- d.** In che cosa consiste la riparazione per escissione delle basi?
- e.** Che tipo di danni producono le radiazioni UV? E i raggi X o gamma?
- f.** Come viene riparata la rottura di entrambi i filamenti del DNA? Quale tra le due modalità è la più fedele e perché?



Scheda Didattica / **Aiuto, è cancerogeno. Forse**

di **Monica Menesini**

RISPOSTE

1. a. F; **b.** V; **c.** F; **d.** F; **e.** V; **f.** V; **g.** V.

2. Oncogeni: controllano la crescita cellulare stimolando la cellula a dividersi (geni RAS). Geni oncosoppressori: inibiscono il ciclo cellulare e impediscono alla cellula di dividersi (gene RB, del retinoblastoma). Geni coinvolti nella riparazione del DNA: riparano i danni a livello del DNA (geni BRCA1, BRCA2).

3. a. G₁: fase di crescita della cellula; S: sintesi del DNA; G₂: precede la divisione; G₀: fase nella quale il ciclo cellulare è "congelato".

b. Segnali di crescita.

c. Quando una cellula non si può o non si deve duplicare: anche tutta la vita.

d. Perché non ha bisogno dei segnali di crescita ed evade i controlli.

e. Regola il ciclo cellulare e sopprime i tumori nascenti.

5. a. Danni a livello di nucleotidi; errato appaiamento delle basi (mismatch); rottura dei filamenti.

b. Una volta ogni 100 000 appaiamenti. Può essere riparato direttamente dalla polimerasi durante la duplicazione, attraverso il meccanismo di mismatch repair.

c. Perossido di idrogeno.

d. Un enzima rimuove la base danneggiata, e un altro arriva per rimuovere la parte danneggiata e sostituire il nucleotide.

e. Fusione di 2 nucleotidi e rotture della doppia elica.

f. Ricombinazione omologa e unione non omologa delle estremità. Il meccanismo più fedele è la ricombinazione omologa, perché usa come stampo un filamento uguale o molto simile.

6. a. Perché hanno acquisito una mutazione che li ha resi capaci di sintetizzare istidina.

b. L'agente non è mutageno.

c. L'agente è mutageno, e maggiore è il numero di colonie presenti, maggiore è il suo effetto mutageno.

d. Alle dosi più alte corrisponderà un maggior numero di colonie.

7. L'articolo mette in relazione la presenza nella carne rossa di una sostanza (Neu5Gc) che provoca – nei topi – infiammazione e comparsa di epatocarcinoma. Però si tratta solo di una correlazione – per di più per ora individuata solo in un modello animale – e non di una chiara relazione causa/effetto.

Monica Menesini

è laureata in Scienze Biologiche e insegna scienze naturali nelle scuole superiori. È docente CLIL, ha pubblicato due lezioni originali sulla piattaforma TED-ed ([link.pearson.it/91EC9FBF](https://www.pearson.com/it/91EC9FBF) e [link.pearson.it/8E5CE05](https://www.pearson.com/it/8E5CE05)). È autrice di *Biology CLIL 3D* (Pearson Italia 2017).



La fisica che fa bene

di Nicoletta Protti

Usare radiazioni ionizzanti opportunamente “addomesticate” dai fisici per danneggiare i tumori: è l’obiettivo della radioterapia, che sta evolvendo verso forme sempre più sofisticate.



2016 Fondazione CNAO

Il complesso delle macchine acceleratrici del CNAO, Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica a Pavia

Poche conoscenze si sono tanto rapidamente evolute in applicazioni tecnologiche come la scoperta delle radiazioni ionizzanti, effettuata nel 1895 dal fisico tedesco Wilhelm Röntgen e da subito utilizzata in medicina, in ambito diagnostico e terapeutico.

Grazie alle molteplici implicazioni in campo sanitario, sociale ed economico, il sodalizio vincente tra la fisica di queste radiazioni e la medicina fornisce molti spunti di riflessione sul ruolo e l'importanza di una scienza dura come la fisica rispetto alla vita quotidiana.

MI CHIAMO IONIZZANTE. RADIAZIONE IONIZZANTE

Sotto il nome di radiazioni ionizzanti i fisici classificano una molteplicità di agenti accomunati dalla capacità di produrre ionizzazioni quando attraversano la materia. Quando l'energia della radiazione è superiore a quella che lega un elettrone a un atomo o ad una molecola (circa 30 eV) si innesca un fenomeno detto ionizzazione che porta all'espulsione dell'elettrone e alla produzione di uno ione positivo. Le radiazioni ionizzanti sono chiamate così perché, trasferendo la loro energia agli atomi, generano coppie di ioni. Se prodotte all'interno dei tessuti biologici, a loro volta danno avvio a una cascata di eventi in grado di cambiare la struttura e la funzione delle molecole delle cellule.

L'ANELLO DEBOLE DELLA CATENA

In particolare, il DNA è la molecola più sensibile che troviamo all'interno di una cellula, poiché è unica e depositaria dell'informazione genetica grazie alla quale ogni cellula si riproduce, cresce e svolge le sue specifiche funzioni. Inoltre è la molecola più voluminosa, quindi la più facile da colpire in una gara di tiro al bersaglio, ed è molto attiva, essendo coinvolta in processi di duplicazione, trascrizione e sintesi: l'esperienza insegna che tanto più un oggetto si usa, tanto maggiore è la probabilità che si rompa. L'evoluzione, però, ha dotato le cellule di complessi meccanismi atti a sorvegliare l'integrità del DNA e a correggerlo nel caso in cui si verificassero danni che potrebbero portare a un funzionamento non corretto della cellula o alla sua morte. Che cosa c'entra tutto ciò con le radiazioni ionizzanti? C'entra se si prendono in considerazione le cellule tumorali, dove l'efficienza dei meccanismi di riparazione è ridotta, ed è proprio questa differenza tra le cellule malate e quelle sane a venire sfruttata in radioterapia. L'idea è quella di concentrare nelle prime l'effetto delle radiazioni ionizzanti, in modo da indurre un numero così alto di danni al DNA che la cellula non sia più in grado di farvi fronte, forzandola a morire.

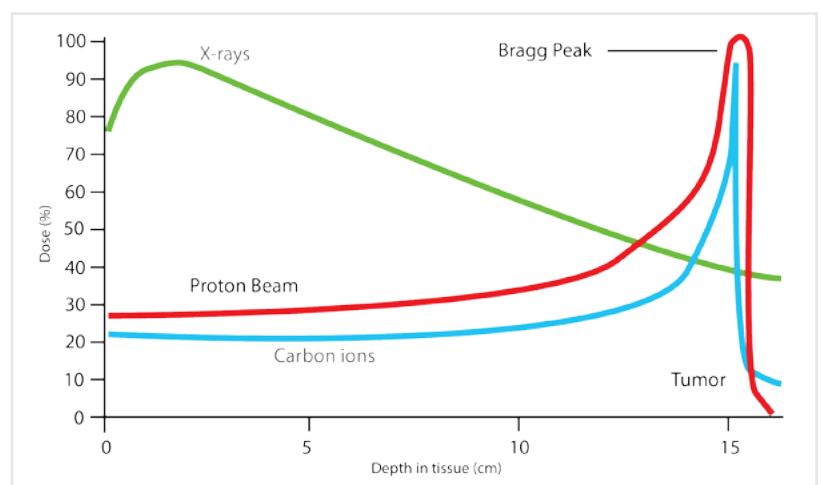
UNA QUESTIONE DI PRECISIONE

Un concetto molto importante per valutare l'efficacia di una terapia è quello di selettività. Un trattamento è tanto più selettivo quanto più la sua azione si concentra solo sul bersaglio che si vuole silenziare. Nella radioterapia è la fisica dell'interazione tra le radiazioni ionizzanti e la materia a dettare la selettività del trattamento. Osserviamo la figura a fianco, che riporta, in

GLI AGENTI 007 DELLA MISSIONE RADIOTERAPIA

Sono radiazioni ionizzanti: le onde elettromagnetiche a partire dai raggi ultravioletti; i costituenti degli atomi, ossia elettroni, protoni e neutroni; gli ioni pesanti come i nuclei del carbonio, dell'elio, dell'ossigeno o del neon privati del tutto o in parte degli elettroni orbitali. Le caratteristiche fisiche della radiazione – se elettricamente carica o neutra – determinano le interazioni fondamentali con cui essa interagisce con la materia – interazione elettromagnetica o nucleare forte – portando a caratteristici modi di trasferimento di energia e quindi di modificazione delle molecole biologiche.

funzione della profondità all'interno del corpo umano, l'energia depositata per unità di massa (grandezza fisica chiamata dose). Trascurando i primi centimetri di tessuto, la curva dei fotoni è asintotica con un profilo esponenziale negativo. Al contrario, i protoni percorrono uno spessore ben definito, lungo il quale trasferiscono poca energia eccetto che negli ultimi millimetri, dove rilasciano tutta l'energia residua, creando il cosiddetto picco di Bragg. La posizione del picco dipende dall'energia iniziale della particella: maggiore è l'energia, più in profondità si formerà il picco. Queste curve si chiamano profili di dose e forniscono la chiave di lettura per comprendere l'uso delle radiazioni ionizzanti in radioterapia. Nel caso dei fotoni, usati nella radioterapia convenzionale, la forma più comune di radioterapia, il tumore viene trattato – tecnicamente si dice irraggiato – combinando più fasci che entrano nel corpo del paziente da direzioni diverse e tali da intersecarsi nel volume tumorale. Per additività, il tumore riceve una dose Nd , dove d è la dose dovuta al singolo fascio e N è il numero di fasci, mentre i tessuti sani che si trovano nei corridoi di ingresso e uscita dei fasci ricevono solo una frazione della singola dose d . Il trattamento è ancora più selettivo nel caso dell'adroterapia che fa uso dei protoni



Andamento della dose rilasciata a profondità crescenti nel corpo del paziente da: fotoni (curva verde, radioterapia convenzionale); protoni (curva rossa); ioni carbonio (curva azzurra, adroterapia)

o degli ioni carbonio. Controllando posizione ed energia iniziale del fascio è infatti possibile muovere il picco di Bragg così da coprire l'intero volume del tumore, depositando solo una piccola frazione della dose nei tessuti sani che precedono il tumore e ignorando completamente quelli posteriori.

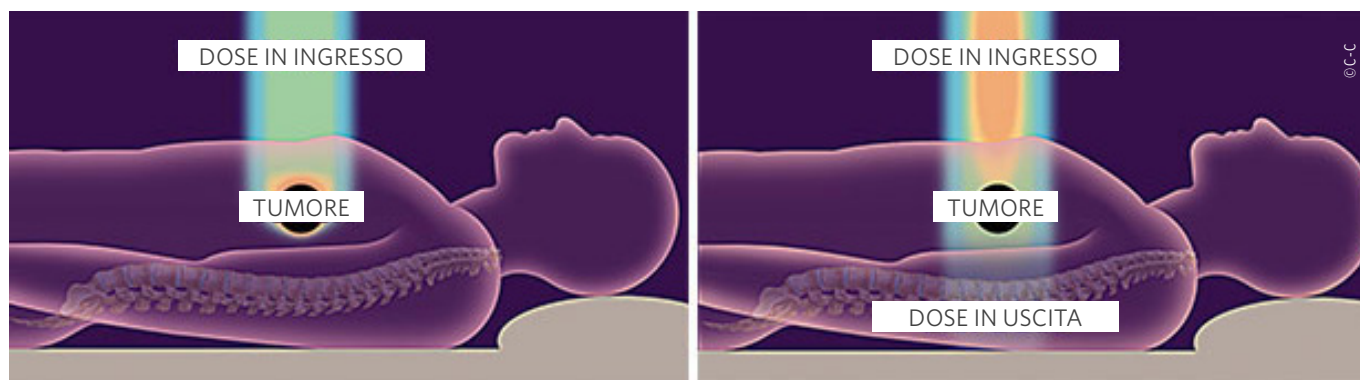
COME L'AGENTE Q PER JAMES BOND

Diciamoci la verità: l'agente 007 non sarebbe così infallibile e letale nelle sue missioni senza le armi e i sensori ad altissima tecnologia che l'agente Q maschera nei più disparati oggetti di vita quotidiana (orologi da polso, stilografiche, automobili ecc.). Lo stesso binomio è necessario nel caso delle radiazioni ionizzanti: hanno bisogno di conoscenze e tecnologie di supporto che controllino e indirizzino efficacemente le loro potenzialità terapeutiche. La tecnologia necessaria per la radioterapia è essenzialmente quella degli acceleratori di particelle. Nel caso dei fotoni si usa un acceleratore lineare (LINAC) che accelera elettroni emessi per effetto termoionico fino a farli scontrare su una targhetta di metallo. Nell'urto gli elettroni subiscono forti deviazioni e per l'effetto frenamento emettono fotoni che sono poi indirizzati sul paziente. Nel caso dell'adroterapia, invece, gli ioni vengono accelerati mediante sincrotroni, grandi anelli composti da una successione di LINAC e calamite che rispettivamente accelerano e curvano la traiettoria. Percorrendo l'anello più e più volte, è possibile aumentare l'energia delle particelle fino al valore desiderato. I principi appena enunciati sono stati sviluppati e sono alla base di alcuni dei laboratori di fisica fondamentale più

importanti al mondo, come il CERN di Ginevra e lo SLAC in California.

AGENTE 007: UCCIDERE SENZA LASCIAR TRACCIA

La radioterapia con fotoni e l'adroterapia sono molto efficaci quando si conoscono posizione e dimensione del tumore. Che fare però quando il tumore è composto da molti, piccoli, noduli sparsi in un organo? O quando la malattia si infiltra come le radici di una pianta nel tessuto sano? In questi casi viene in aiuto un ultimo tipo di radioterapia non convenzionale, chiamata terapia per cattura neutronica con il boro. L'idea è quella di irraggiare uniformemente la regione nella quale si annida il tumore con un fascio di neutroni di bassa energia. Queste particelle da sole non sono in grado di danneggiare significativamente le cellule. Quando però il neutrone incontra un nucleo di boro-10 (B10), un isotopo non radioattivo dell'elemento boro, è come se si accendesse una miccia. La fisica nucleare infatti insegna che, assorbendo il neutrone, il nucleo del B10 si trasforma in un nucleo instabile che si spacca in due "pezzi" più leggeri, un nucleo di elio e uno di litio. Questi si allontanano l'uno dall'altro di qualche micrometro, distanza coincidente con il diametro medio delle cellule. Se si accende quindi la miccia dentro una cellula tumorale, l'effetto dell'esplosione sarà avvertito solo all'interno di questa cellula, senza interessare quelle sane circostanti. La selettività di questa terapia non dipende tanto dalla precisione nel mirare al tumore con il fascio di radiazioni quanto dalla capacità di accumulare il B10 solo nel tumore. La chimica e la biologia ci vengono in aiuto, individuando le molecole di cui un



Tattamento con protoni
(la maggior parte dell'energia si deposita nel tumore)

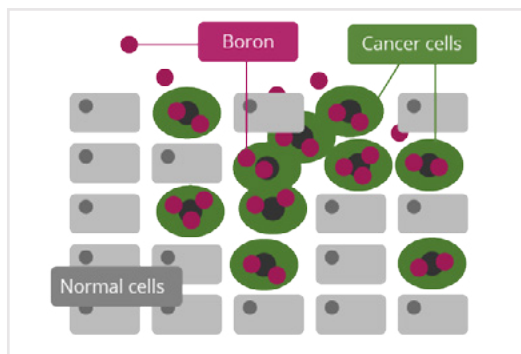
Tattamento con radioterapia convenzionale
(la maggior parte dell'energia si deposita prima del tumore)

Confronto schematico della dose rilasciata in un trattamento con protoni (a sinistra) rispetto a un trattamento convenzionale con fotoni (a destra)

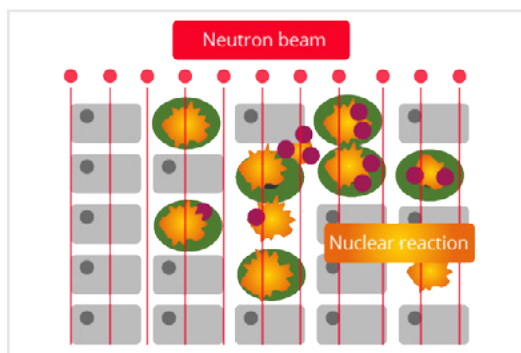
tumore si nutre (per esempio aminoacidi che servono in grande quantità per produrre nuove copie di cellule malate) e appiccicandovi poi degli atomi di B10. Sorgenti di neutroni sufficientemente intense per la clinica sono ottenute presso i reattori nucleari, ma visti i problemi di sicurezza e gestione di questi impianti, negli ultimi anni si sono sviluppati acceleratori di protoni per la produzione di fasci di neutroni che richiedono tecnologie e hanno dimensioni analoghe a quelle dei LINAC della radioterapia convenzionale.

UN NECESSARIO APPROCCIO MULTIDISCIPLINARE

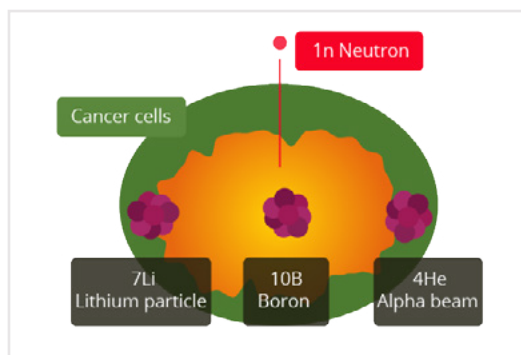
Oggi la radioterapia rappresenta la seconda delle tecniche più utilizzate contro il cancro (superata solo dalla chirurgia) e una componente fondamentale nei protocolli di trattamento dei tumori: a un certo punto della cura, infatti, più del 50% dei pazienti riceve almeno un irraggiamento con radiazioni ionizzanti, considerando solo quelle convenzionali (fotoni). I vantaggi introdotti dalle radiazioni cariche sono attualmente in fase di ricerca e sviluppo per poter sfruttare al massimo le loro proprietà fisiche peculiari. Forti prove sperimentali della migliore efficacia di queste radiazioni sono già state raccolte in gruppi selezionati di pazienti di considerevoli dimensioni: più di 150 000 per l'adroterapia e 450-550 per la BNCT. Ogni progresso nella conoscenza di base dei tumori e nello sviluppo di nuove tecnologie è una conquista essenziale per rendere il cancro una malattia sempre più curabile. Tutto questo è possibile solo mediante gli sforzi congiunti di medici, biologici e fisici che grazie alle loro conoscenze complementari possono sviluppare strumenti ad altissima precisione contro la malattia. ●



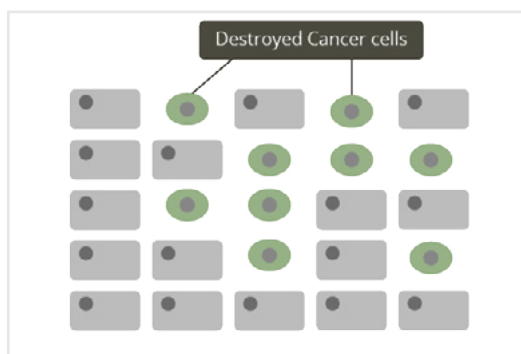
Prima dell'irraggiamento, le cellule tumorali assorbono la molecola contenente il B10 che viene iniettata nel flusso ematico del paziente.



Si concentra l'irraggiamento neutronico nella regione dove ha sede il tumore, facendo attenzione che la copertura di tutta la regione sia il più uniforme possibile.



Zoom della reazione di cattura neutronica che interessa solo le cellule tumorali che hanno accumulato il B10.



Grazie ai danni molecolari molto gravi prodotti dalle coppie di particelle alfa e ioni litio le cellule tumorali sono state uccise, mentre le cellule sane circostanti sono ancora integre e funzionanti.

I principi e la selettività della terapia per cattura neutronica con B10

Nicoletta Protti

è ricercatrice presso la sezione di Pavia dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e si occupa di BNCT sin dalla laurea in fisica del 2008. Nel 2015 ha avviato uno studio sulla fattibilità della BNCT contro la malattia di Alzheimer.



PER APPROFONDIRE

- Protti N., *Io e la fisica*, webinar progetto Eureka di Pearson. link.pearson.it/1BEC1F44
- Ramani D., *I meccanismi di riparazione del DNA*, in Science Magazine n.09, dicembre 2015. link.pearson.it/2D713127
- *Wilhelm Conrad Röntgen, The Nobel Prize in Physics 1901*, pagina web del premio Nobel dedicato a Röntgen. link.pearson.it/5A7601B1
- *Nuclear Physics for Medicine*, documento del Nuclear Physics European Collaboration Committee, 2014. link.pearson.it/AAE3F067

Scheda Didattica / La fisica che fa bene

di **Francesca E. Magni**

RISPOSTE

1. **a.** F; **b.** F; **c.** V; **d.** V; **e.** V; **f.** F.

2. luce - quanti - massa - carica elettrica - visibile - radiazione fotoelettrica

3. Il termine *asintotico* in matematica si utilizza molto per le funzioni: un *asintoto* è una retta la cui distanza dalla funzione tende a zero, a mano a mano che l'incognita x si avvicina all'infinito. Un *asintoto* è quindi una retta alla quale la funzione tende ad avvicinarsi sempre di più all'infinito, senza mai intersecarla. *Asintotico* si associa a quelle funzioni che all'infinito si comportano come altre funzioni: all'infinito (quando la x tende a essere molto grande) un polinomio di secondo grado si comporta (ha cioè il grafico molto simile) come la funzione $y = x^2$ perché i termini di grado inferiore del polinomio risultano trascurabili. In questo contesto il termine è usato proprio con questo significato: la curva dei fotoni è una funzione che – quando i valori sono molto grandi – si comporta come il grafico di una curva esponenziale.

4. All'interno degli acceleratori lineari per produrre fasci di elettroni.

5. I sincrotroni sono particolari acceleratori di particelle a forma di anello che contengono al loro interno acceleratori lineari posizionati uno in seguito all'altro. Fra gli acceleratori lineari italiani si può citare il TOP LINAC dei laboratori dell'Enea a Frascati e fra i sincrotroni quello del CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica) di Pavia.

6. Un buon sito di partenza è il seguente link.pearson.it/526C96E7, dove si trova una biografia ampia e particolareggiata.

Francesca E. Magni

è laureata in fisica e pubblicista.
Insegna matematica e fisica al liceo.
Scrivere racconti scientifici.



L'enorme "occhio" cinese sulle stelle

di **Giovanni Anselmi**

Si chiama FAST ed è il più grande radiotelescopio al mondo, costruito in Cina a tempo di record: uno strumento da cui ci si aspettano grandi risultati nel campo della radioastronomia. Ecco perché.



FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope) è il nome del radiotelescopio più grande al mondo, è stato costruito in Cina a tempo di record

Astronauti in orbita terrestre, sonde automatiche sulla Luna, stazioni spaziali, satelliti di ultima generazione... mai come in questo periodo si è avvertita così forte la determinazione della Cina nell'investire parte della sua crescente esuberanza economica nell'esplorazione spaziale. Un balzo in avanti che nel 2014 l'ha portata a superare l'Unione Europea in termini di investimenti nel settore e a minacciare da vicino il primato degli Stati Uniti.

E nel settembre 2016 è arrivata la notizia che più di ogni altra restituisce la misura di questa accelerazione: dopo appena cinque anni di lavori, la Cina ha completato la costruzione di FAST, il radiotelescopio ad antenna singola più grande del mondo. Con i suoi 519 metri di diametro, il nuovo radiotelescopio si appropria di un record detenuto da più di mezzo secolo da quello, leggendario, di Arecibo a Porto Rico (305 metri di diametro).

COME TUTTO È COMINCIATO

L'idea di costruire FAST (vedremo in seguito il significato di questo nome) è nata da una precedente adesione della Cina al tribolato progetto internazionale dello Square Kilometer Array (SKA). Inizialmente – siamo nei primi anni Novanta – doveva trattarsi della costruzione, proprio in Cina, di un grande radiotelescopio ad antenna unica, ma in un secondo momento il comitato promotore ha deciso di puntare su un sistema basato su un elevato numero di antenne connesse tra loro anche se fisicamente distanti (parte in Sudafrica, parte in Australia). Le antenne così organizzate formano un telescopio virtuale del diametro pari alla distanza tra le due più lontane tra loro. Di fronte al cambio di programma, nel 2006 la Cina ha deciso di mettersi in proprio e di costruire un osservatorio radio tutto suo, straordinariamente grande non solo per motivi di prestigio politico, ma anche per la necessità di imporre un nuovo standard dimensionale alla ricerca scientifica delle onde radio.

TUTTE LE ONDE POSSIBILI

Prima di addentrarci nelle caratteristiche e nelle potenzialità di FAST, però, conviene fare un passo indietro, con qualche incursione nel mondo della radioastronomia. Il punto essenziale della questione è che tutto quanto conosciamo

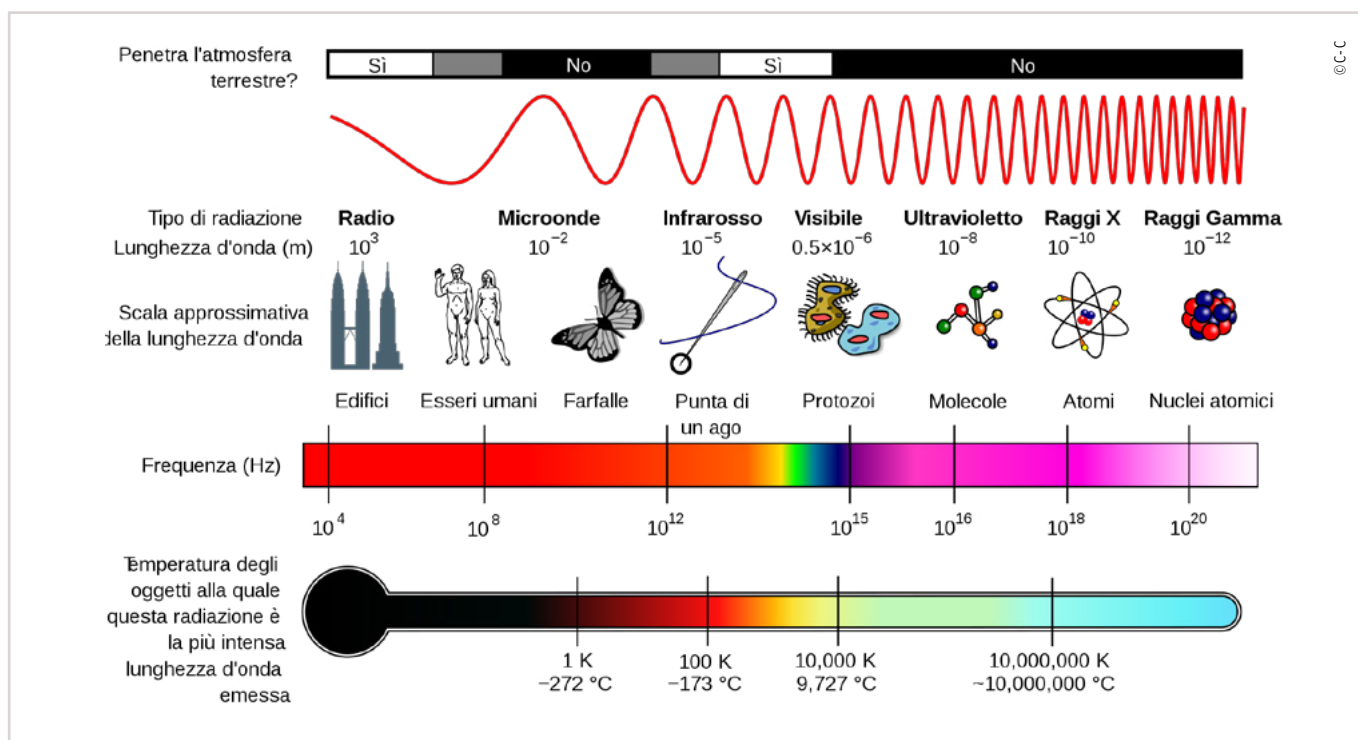
sul funzionamento dell'Universo lo dobbiamo alla misura e allo studio della radiazione elettromagnetica in arrivo dallo spazio. Uno studio che per molti secoli si è dovuto limitare alla ristretta finestra della cosiddetta radiazione "visibile", quella che comunemente definiamo "luce" e che raccogliamo a occhio nudo o attraverso i telescopi ottici.

La radiazione visibile, però, è solo una piccola parte dell'insieme di radiazioni emesso dagli oggetti celesti, che comprende anche onde radio, microonde, infrarosso, visibile, ultravioletto, raggi X e raggi Gamma. Ognuna di queste radiazioni può offrire informazioni differenti e dunque la possibilità di scoprire fenomeni invisibili all'occhio umano, come alcuni dettagli sulla nascita delle stelle scoperti proprio grazie all'osservazione dei raggi infrarossi.

E tra le radiazioni da utilizzare ci sono appunto quelle "raccolte" dai radiotelescopi: le onde radio, migliaia di volte più ampie (lunghezza d'onda da 1 mm a qualche chilometro) di quelle emesse dalla luce visibile.

RACCOGLIERE LE ONDE RADIO

Dal punto di vista strumentale, la nascita dell'astronomia di queste onde lunghe, o radioastronomia, è frutto della tecnologia radar per uso militare: il suo primo risultato è arrivato negli



Lo spettro elettromagnetico indica l'insieme di tutte le possibili frequenze delle radiazioni elettromagnetiche



anni Trenta, con la scoperta della prima sorgente radio extraterrestre mai rilevata: il nucleo della Via Lattea. Proprio come in un telescopio ottico un obiettivo (lente o specchio) focalizza la luce raccolta verso un oculare o una macchina fotografica, in un radiotelescopio c'è un'antenna – si parla di “disco” – deputata a raccogliere la radiazione elettromagnetica e a rifletterla verso il ricevitore. In molti radiotelescopi il disco si avvale di una superficie a forma di paraboloide per sfruttare una particolarità geometrica della parabola, ovvero quella di riflettere in un unico punto chiamato “fuoco” tutti i raggi provenienti da una direzione parallela al suo asse: in questo modo, anche le onde radio che colpiscono la parte periferica del disco vengono riflesse tutte esattamente verso il fuoco, proprio lì dove le aspetta il ricevitore che converte, amplificandola, la debole energia elettromagnetica in un segnale elettrico rilevabile. Il segnale, amplificato e convertito, viene quindi digitalizzato ed esaminato al computer con l'aiuto di particolari software, fino a essere trasformato in immagini dalle quali si ottengono le informazioni fisiche e chimiche sulle radio sorgenti che lo hanno emesso.

Più semplici, veloci ed economici da costruire sono i radiotelescopi con il disco a sezione sferica, come quelli di Arecibo e di FAST, che presentano però lo svantaggio di riuscire a focalizzare alla perfezione solo i raggi più prossimi all'asse del riflettore. Un inconveniente – si chiama aberrazione sferica – che può essere eliminato sia montando un secondo disco correttore in prossimità del fuoco (come fa Arecibo), sia modificando la forma del disco con pistoni elettromeccanici controllati da computer (come è stato fatto per FAST).

NEL PROFONDO SUD DELLA CINA

Ma torniamo a FAST, e godiamoci le tappe di questa straordinaria realizzazione partendo dalla località nella quale è stata eretta, ovvero la contea di Pingtang, nella provincia meridionale di Guizhou. È una zona caratterizzata da una continua distesa di basse montagne separate da cavità di origine carsica, doline per lo più di forma quasi circolare, e proprio all'interno di una di queste – la Dawodang depression, larga 800 metri – si è deciso di alloggiare l'antenna di un radiotelescopio simile

PERCHÉ GRANDE È MEGLIO

Le caratteristiche fondamentali di un radiotelescopio sono sensibilità e potere risolutivo. Dato che i segnali in arrivo sono molto deboli, l'antenna deve essere così sensibile da rilevarli, il che dipende da caratteristiche come l'area del disco e le prestazioni del ricevitore. Il potere risolutivo consiste nella capacità dello strumento di separare due radio sorgenti angolarmente molto vicine ed è direttamente proporzionale al rapporto tra la lunghezza d'onda della radiazione e il diametro dello strumento. Questo significa che per “osservare” le onde radio, che hanno lunghezze d'onda molto più elevate della radiazione visibile, i radiotelescopi devono avere un diametro molto più grande di quello dei telescopi ottici. Poiché esistono limiti strutturali alle dimensioni dei dischi (con FAST siamo al massimo), l'alternativa è utilizzare un grande numero di “piccole” antenne che formano un enorme radiotelescopio virtuale (interferometria).



La calotta sferica di FAST

a quello di Arecibo. L'area è decisamente poco popolata. Le città più vicine sono Anshun, più di 130 chilometri a nordovest, e Guiyang, 150 km a nord, e quindi pochi sono i segnali radio artificiali che potrebbero interferire con le osservazioni. L'obbligo di rispettare il silenzio radio, spegnendo anche i telefoni cellulari, dovrà essere comunque osservato già a una decina di chilometri prima dell'arrivo nel sito, tanto che il governo cinese ha dovuto far trasferire in altra sede (non senza polemiche) le circa 9000 persone che abitavano a meno di 5 km dall'installazione.

UNO SPETTACOLO GRANDIOSO

A regime, lo staff di scienziati e tecnici residenti, una settantina di persone in tutto, si sposterà per le urgenze con due elicotteri a disposizione sul piazzale del centro controllo, mentre i visitatori arriveranno quasi tutti in pullman, essendo interdetta la zona al traffico privato. E la prima cosa che scorgeranno all'orizzonte saranno sei torri metalliche alte ciascuna 150 metri: piloni che sorreggono per mezzo di tiranti, come in un ponte sospeso, una rete metallica rivestita da un gigantesco puzzle di circa 4500 pannelli di forma triangolare: l'antenna. Sarà uno spettacolo davvero emozionante quello di cui potranno godere quando riusciranno ad avere una visione complessiva dello strumento salendo sulle colline circostanti! Ma a questo punto, facendo correre lo sguardo sull'imponente struttura a molti sorgerà spontanea una domanda: se il radiotelescopio è così pesantemente ancorato a terra, come riuscirà a ricevere segnali da oggetti che invece ruotano seguendo il moto apparente della sfera celeste?

TECNICA D'AVANGUARDIA

In effetti, sia FAST sia il telescopio di Arecibo sono strutture statiche; per ovvi motivi meccanici (stiamo parlando di un peso di migliaia di tonnellate) il loro disco rimane sempre rivolto allo Zenit, senza alcuna possibilità di muoversi per "inseguire" le stelle come avviene invece nei telescopi ottici o nei radiotelescopi di dimensioni più contenute. Ma se il disco non si può muovere, una soluzione minima esiste comunque: quella di muovere in sua vece la cabina di ricezione del segnale situata nel fuoco dello strumento. È proprio in questo aspetto che sta una delle differenze qualitative più importanti tra FAST e Arecibo: la maggiore mobilità del ricevitore, che nel radiotelescopio cinese può essere spostato fino a 40° dallo Zenit, contro i 20° del telescopio di Porto Rico. Questo si traduce per FAST nella possibilità di inseguire un oggetto celeste per un periodo di quasi 6 ore, contro le 2,7 ore di Arecibo. Un guadagno davvero considerevole,

tale da permettere una maggiore velocità nell'acquisizione dei dati, specie considerando che il ricevitore ha anche la possibilità di osservare 19 regioni del cielo contemporaneamente, e a lunghezze d'onda differenti! Ed è senz'altro questa caratteristica che l'Accademia nazionale delle scienze cinese ha voluto sottolineare con la scelta del nome FAST, che è sì l'acronimo di *Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope*, ma anche la parola inglese che significa "veloce".

Altro enorme vantaggio per FAST è la capacità di modificare la curvatura di una parte del riflettore, trasformando da sferica a parabolica una porzione di circa 300 metri di diametro: ogni singolo pannello, infatti, può variare la sua inclinazione, col duplice vantaggio di assecondare lo spostamento del ricevitore, facendo sì che lavori sempre in asse con il riflettore, e di correggere l'aberrazione sferica di quest'ultimo focalizzandone meglio il segnale. Nel primo caso, la differenza è quella che c'è tra il seguire a occhio nudo un oggetto al limite del campo visivo e l'averlo invece direttamente di fronte, mentre nel secondo è un po' come correggere un difetto della vista modificando la curvatura del cristallino.



Telescopio di Arecibo (in alto) e FAST (in basso) ripresi in un'immagine satellitare

UN FUTURO SI SPERA BRILLANTE

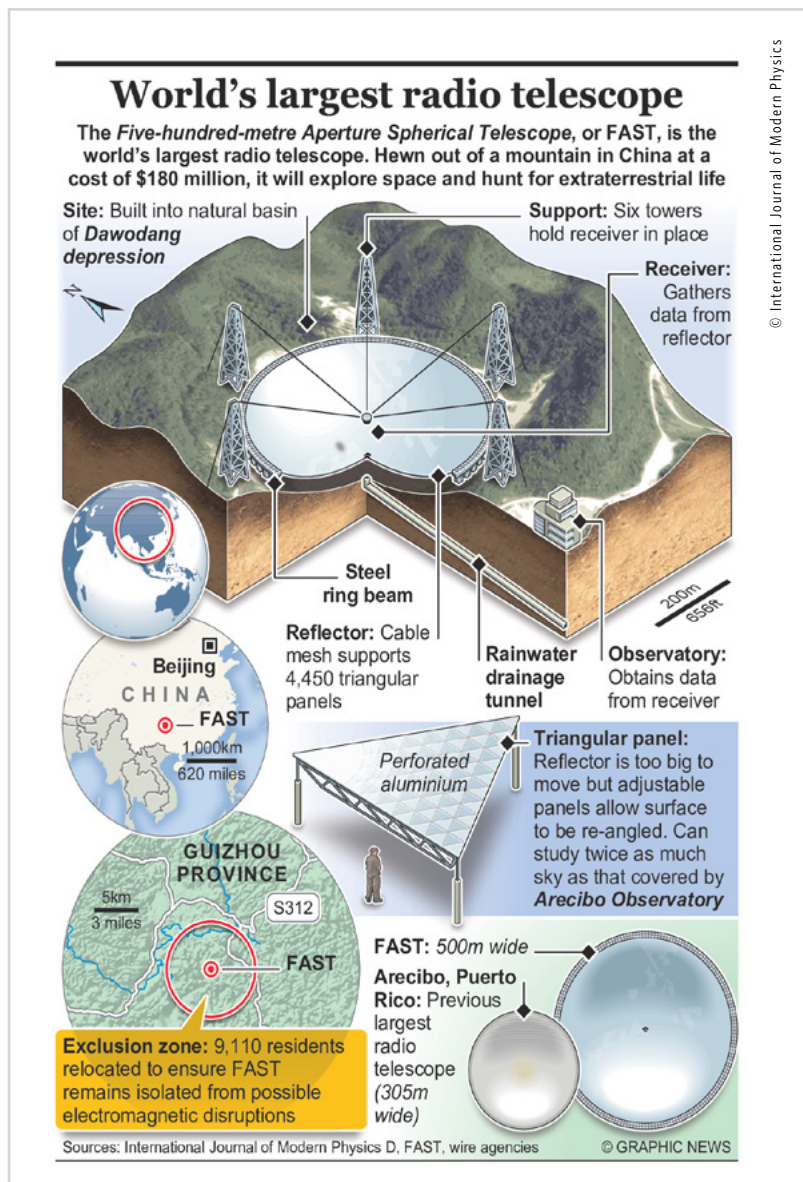
Ma quali saranno i campi di ricerca dove FAST potrà far valere le sue tanto decantate capacità? E le eventuali scoperte scientifiche saranno davvero tali da giustificare un investimento economico di quasi 200 milioni di euro? In effetti, nel recente passato le più grandi scoperte di settore, come le pulsar, i quasar, la radiazione cosmica di fondo e le molecole organiche interstellari, sono arrivate proprio grazie all'impiego di radiotelescopi sempre più grandi e sofisticati; il che fa pensare che – almeno fino alla prossima generazione di telescopi spaziali ottici, quelli che manderanno in pensione Hubble – saranno ancora le grandi antenne a portare i cambiamenti più significativi nella ricerca astronomica.

ALLA RICERCA DI INTELLIGENZE EXTRATERRESTRI

Per quantificare la superiorità di FAST nei confronti dei suoi predecessori possiamo fare un esempio basato sulla rilevazione di un ipotetico segnale alieno. Il radiotelescopio australiano Parkes (antenna singola di 65 metri di diametro) sarebbe in grado di rilevare un ipotetico segnale alieno della potenza di 1 gigawatt solo se provenisse da una stella distante meno di 4,5 anni luce, il che restringerebbe la ricerca a un unico sistema stellare, quello di Alfa Centauri. D'altra parte, l'osservatorio di Arecibo allungherebbe il tiro fino a distanza di 18 anni luce, fino a comprendere una dozzina di stelle. FAST, invece, potrebbe captare un simile segnale fino a una trentina di anni luce, tenendo sotto controllo più di 1500 stelle!

TRA ENERGIA OSCURA, PULSAR E PIANETI EXTRASOLARI

Il grande "occhio celeste" cinese sarà all'avanguardia in molte altre cose. Progettato per rilevare segnali nelle lunghezze d'onda tra 0,1 e 4 metri, potrà per esempio tracciare con grande precisione la distribuzione dell'idrogeno neutro, l'elemento più abbondante nella galassia. Questo consentirà, tra l'altro, di ricavare dati più attendibili sulla accelerazione dell'espansione dell'Universo e quindi sulla reale natura della cosiddetta energia oscura, la misteriosa forza che secondo i modelli cosmologici più in voga ne è la causa prima. L'unico modo per misurare con precisione l'entità dell'accelerazione è infatti quello di stabilire la distanza tra galassie remotissime, cosa che diventa possibile solo rilevando se tra le galassie in questione e l'osservatore esista o meno una nube di idrogeno capace di "smorzarne" la luminosità. E a questo tipo di misura, ai livelli di precisione richiesta, può provvedere soltanto un radiotelescopio del diametro e della sensibilità di FAST.



Il telescopio di Arecibo e FAST a confronto: la potenza espressa da quest'ultimo è incommensurabilmente maggiore di quella di tutti i precedenti

E ancora, la grande parabola potrà dare un decisivo impulso alla scoperta di nuove pulsar, oggetti la cui casistica ha bisogno di essere ampliata per fornire indicazioni su tutto ciò che ancora non sappiamo dei buchi neri e delle onde gravitazionali. La teoria ci dice che dovrebbero essere circa 60 000 le pulsar osservabili nella nostra galassia, ma finora ne sono state scoperte meno di 2 mila: con FAST si spera di trovarne almeno altre 4 mila. Ci si aspetta, inoltre, che sia così sensibile da permettere di identificare le emissioni radio di giganti gassosi come il nostro Giove in orbita attorno a stelle lontane, incrementando con ciò la casistica sui pianeti extrasolari. E che qui sulla Terra riesca a prendere la leadership dei sistemi di interferometria a lunghissima base (VLBI - Very Long Baseline

Interferometry), che prevedono l'osservazione della stessa porzione di cielo con più radiotelescopi sparsi per il mondo e coordinati tra loro.

LA PRIMA LUCE

Per il momento il telescopio è gestito solo da tecnici e scienziati cinesi che, oltre ad avviare le ricerche programmate, sono pronti a gestire eventuali problemi che potrebbero sorgere all'inizio delle osservazioni. Solo tra due anni si aprirà l'accesso a ricercatori di tutto il mondo, grazie anche alla possibilità di gestire in remoto il radiotelescopio e i suoi strumenti. Intanto, il 26 settembre scorso si è già avuta la "prima luce", ovvero la prima osservazione ufficiale compiuta dallo strumento. E ci sembra piuttosto comprensibile, e anche molto simbolico, che la scelta dell'oggetto da puntare sia ricaduta sulla pulsar al centro della Nebulosa del granchio, che nel 1054 venne osservata in Cina come una brillantissima supernova galattica e fu invece completamente ignorata dagli astronomi occidentali... ●



La Nebulosa del Granchio, al cui centro è visibile la Pulsar

PAROLE CHIAVE

Pulsar Oggetto celeste di pochi chilometri di diametro, residuo dell'esplosione di una stella molto massiccia. È un nucleo di materia densissima formato quasi di soli neutroni, che ruota molto velocemente emettendo impulsi di radiazione elettromagnetica a intervalli regolari.

Quasar Corpo celeste caratterizzato dall'emissione di enormi quantità di energia ma – data la notevole distanza, di miliardi di anni luce – dall'aspetto puntiforme. Probabile manifestazione dell'attività di enormi buchi neri al centro delle galassie che popolarono l'Universo nei primi miliardi di anni della sua esistenza.

Radiazione cosmica di fondo Radiazione elettromagnetica che permea tutto l'Universo ed è considerata il residuo della radiazione prodotta dal Big Bang.

Molecole organiche interstellari Molecole organiche, cioè a base di carbonio, individuate nel gas interstellare o negli aloni stellari.

Zenit In astronomia è il punto della volta celeste che sta esattamente sopra la testa dell'osservatore, a un'altezza di 90° sopra l'orizzonte.

Giovanni Anselmi

ha co-fondato e diretto le riviste di astronomia *Il Cielo e Coelum*. Interessato alla storia dell'astronomia e alla meccanica celeste, negli ultimi anni ha collaborato con il Canada-France-Hawaii Telescope. Gli è stato dedicato l'asteroide 15036 (GiovanniAnselmi).



Scheda Didattica / L'enorme "occhio" cinese sulle stelle

di **Francesca E. Magni**

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Che cosa significa radiotelescopio ad antenna singola?
2. Scrivi le parole dell'acronimo FAST: perché hanno scelto questo nome?
3. Che cosa si intende per radiotelescopio virtuale? Citane uno come esempio.
4. Completa il brano seguente, scegliendo i termini appropriati tra quelli elencati:

stelle - informazioni - elettromagnetica - X - infrarosso - visibile - raggi - onde

La radiazione ~~~~~ in arrivo dallo spazio è costituita da: ~~~~~ radio, microonde, ~~~~~, luce ~~~~~, ultravioletto, raggi ~~~~~ e raggi Gamma. Ognuna di queste radiazioni fornisce ~~~~~ differenti. Dall'osservazione dei ~~~~~ infrarossi è stato possibile scoprire alcuni dettagli sulla nascita delle ~~~~~
5. Cerca in Internet un'immagine di un paraboloide. In quale altri campi viene utilizzato, oltre a quello dei radiotelescopi, e perché?

6. VERO O FALSO?

- a. RADAR significa radio detection and running. V F
- b. La Cina ha completato la costruzione di FAST nel 2016. V F
- c. Il radiotelescopio di Arecibo si trova in Perù. V F
- d. Già a una decina di chilometri di distanza da FAST bisogna spegnere i telefoni cellulari. V F
- e. La lunghezza d'onda delle onde radio è migliaia di volte più ampia di quella della luce visibile. V F
- f. La prima sorgente radio extraterrestre mai rilevata proveniva dal nucleo della Nebulosa del Granchio. V F
- g. Un gigawatt corrisponde a un miliardo di watt. V F
7. Spiega in breve che cos'è l'aberrazione sferica di uno specchio.
8. A quanti chilometri corrisponde un anno luce?
9. Che legame esiste fra l'energia oscura e l'espansione dell'Universo?

Il CLIL per la biologia

di **Monica Menesini**

Insegnare e imparare in una lingua straniera: è l'obiettivo del CLIL, ma che cosa si intende esattamente per apprendimento integrato? Qualche esempio per la biologia e l'inglese.

L'acronimo CLIL (Content and Language Integrated Learning) è entrato a far parte del linguaggio scolastico, ma che cosa vuol dire veramente integrazione tra lingua e contenuto? E che senso ha studiare una disciplina scientifica come la biologia in lingua straniera? La risposta più ovvia è che il CLIL può avere un impatto positivo sull'apprendimento della lingua veicolare, non fosse altro per il fatto che gli studenti sono esposti alla lingua per un tempo più lungo. Non altrettanto evidente può risultare il contributo all'apprendimento della disciplina interessata da questa metodologia.

LA LINGUA DELLA BIOLOGIA

Il CLIL consente di insegnare una disciplina non linguistica in qualsiasi lingua straniera, ma la lingua della biologia è decisamente l'inglese. Per uno studente di biologia l'inglese è la lingua che è necessario conoscere per potersi inserire senza problemi in qualsiasi ambiente di studio e di lavoro. Ma non c'è solo questo...

Il segreto è tutto in quella parolina, "integrated", nel senso che la competenza linguistica (ricettiva e produttiva) diventa parte integrante della competenza disciplinare, e non un semplice elemento aggiuntivo.

E come si fa a insegnare i concetti della biologia e la lingua della biologia contemporaneamente? Usando in modo efficace il discorso disciplinare, che in biologia ha vari aspetti fondamentali come l'uso di gruppi nominali lunghi, la nominalizzazione (parole che derivano da un verbo o da un aggettivo), frequenti forme passive, parole comuni usate con un significato specifico, marcatori del discorso e connettivi che collegano con chiarezza le varie preposizioni o frasi, diffuso utilizzo di avverbi.

Integrare lingua e contenuto significa quindi sostenere gli alunni nell'apprendimento di questo specifico "gergo" per comprenderlo e saperlo utilizzare nei vari contesti.

UN AMBIENTE DI APPRENDIMENTO SPECIFICO

Se si vuole che lo studente costruisca e gradualmente approfondisca le proprie conoscenze e la propria *scientific literacy*, è poi fondamentale strutturare un ambiente di apprendimento che, attraverso una serie di compiti (task) contestualizzati gli permetta di mettere in campo allo stesso tempo le tre dimensioni dell'apprendimento: contenuti, lingua e uso del pensiero scientifico. Va quindi promosso un uso estensivo della lingua, sia per la produzione orale che per la produzione scritta: in breve, l'insegnante deve parlare di meno, e gli studenti devono parlare (e scrivere) di più. Dovendo usare una lingua straniera, sarà il docente stesso che sfronderà il linguaggio dai dettagli inutili e si concentrerà sui termini chiave dando spazio allo *scaffolding* (un'impalcatura che sostiene durante il processo di apprendimento e che gradualmente viene "rimossa" man mano che lo studente acquisisce autonomia).



M. MENESINI, CLIL BIOLOGY 3D PEARSON ITALIA 2017

Il testo CLIL Biology 3D vuole sottolineare le tre dimensioni dell'apprendimento: *Concepts, Scientific skills, Language skills*. L'ambiente di apprendimento pensato nella realizzazione di questo testo vuole essere:

- Ricco di input multimodali, costruito su compiti stimolanti e progressivi in modo da coinvolgere gli studenti nella costruzione delle proprie conoscenze.
- Di stimolo per consentire agli studenti di dimostrare la loro comprensione e capacità di applicazione in diversi modi e stili, appropriati ai diversi contesti.
- Un'opportunità di sviluppare la competenza linguistica insieme al contenuto.
- Un'occasione per dare a tutti, indipendentemente dal livello linguistico di partenza e grazie ai supporti forniti (*scaffolding*), la possibilità di svolgere, individualmente o collettivamente, i task proposti.
- Un ambiente in cui il docente è sensibile alla lingua usata e può cogliere ogni occasione per promuovere negli studenti una crescente padronanza nell'uso del linguaggio accademico.

TESTI PIÙ ASCIUTTI

Per facilitare la comprensione dei concetti si alleggerisce la difficoltà della lingua: si può prendere un testo qualsiasi e “asciugarlo”, sostituendo o eliminando termini troppo elaborati o non essenziali per la comprensione dei concetti (cosa che in italiano nessun insegnante farebbe mai...).

Vediamo un esempio, tratto da un articolo pubblicato sulla rivista Nature.

Bacteria that live in soil have been found to *harbor* (si può sostituire con *hide*) an *astounding* *armoury of* (può diventare *many*) natural weapons to *fight off* (si può eliminare *off*) antibiotics. The discovery could help researchers anticipate the next wave of drug-resistant ‘superbugs’. Researchers have long known that *soil-dwelling* bacteria (si può eliminare *dwelling*) make natural antibiotics, and that they have *inbuilt* (si può eliminare *inbuilt*) ways to survive their own and other bugs’ toxins; in some cases, the genes that help them *dodge* (si può usare *avoid*) antibiotics have transferred into infectious bugs that *plague* (si può sostituire con *infect*) humans.

COME GESTIRE I TESTI COMPLESSI

Ridurre la lunghezza: rimuovere le informazioni non indispensabili.

Semplificare: rimuovere o sostituire i termini difficili, lasciare solo la terminologia specifica e poche parole nuove.

Scaffolding: usare diverse modalità di input, aggiungere marcatori del discorso, fornire esempi.

Layout: utilizzare formato e struttura appropriati, aggiungere punti o numeri elenco, usare figure.

Domande: aggiungere domande per verificare la comprensione.

Task: strutturare *task* progressivi che siano fattibili.

Sfruttare la lingua: usare la lingua che gli studenti già conoscono per costruire nuovi “pezzi” di discorso (*the rain is heavy, not strong!*).

STRUTTURE LINGUISTICHE

Si può consolidare una struttura linguistica – come quella riguardante i rapporti causa effetto, tipica del linguaggio scientifico – proponendo un esercizio come quello mostrato a destra.

Using the sentence *Cellulose structure confers great strength to plant cell walls* write 4 different cause effect sentences using the structures listed below. The first sentence is given as an example.

| STRUCTURE | SENTENCE |
|-------------------------------------|--|
| 1. X causes T to be (adjective) | Cellulose structure causes cell wall to be very strong |
| 2. X causes Y to (infinitive) | |
| 3. X causes A (noun phrase) of/in Y | |
| 4. X causes A (noun phrase) | |

Answers

2. Cellulose structure causes cell wall to strengthen
3. Cellulose structure causes strengthening of cell wall
4. X causes cell wall strengthening

COMPITI DI REALTÀ

Si può anche prendere spunto da Internet per trovare compiti di realtà che, attraverso concetti già noti o da apprendere, usano la lingua come “grimaldello” per impegnare ricorsivamente gli studenti nella soluzione di un compito e per far capire la differenza tra linguaggio comune e linguaggio accademico.

DALLA LINGUA AI CONCETTI

Le conoscenze linguistiche possono essere sfruttate per favorire una comprensione profonda dei concetti. Un esercizio come il seguente utilizza le strutture grammaticali già note per ricostruire frasi importanti per la descrizione del DNA. Gli studenti dovranno leggere ogni frase più volte per capirne il significato e abbinarla correttamente, e questo favorirà l'acquisizione dei concetti e di quei “pezzi” (*chunks*) di linguaggio scientifico che saranno utili anche in altri contesti.

This is the extract from a HIV/AIDS forum. It contains the request of a patient, asking information and advice about HIV tests, and the response of Dr. Bob.

Patient: I have actually read in this websites content that PCR are better than antibody. Is this true? Please give me piece of mind. I have tested up to 8 months using standard ELISA, its negative. Can I let go or should I still do a PCR?

Dr. Bob: Hello, PCR testing is generally not recommended for routine HIV screening, due to the rate of false-positives, other technical considerations and cost. Your negative ELISA at eight months is definitive. HIV is not your problem. No way. No how. PCR is not recommended or warranted.

Questions

1. What is the problem of the patient?
2. The sentence “PCR are better than antibody” is not correct but it is comprehensible in its context. Write the corresponding correct sentence.
3. What's the meaning of the sentence “Can I let go or should I still do a PCR”?
 - A Is ELISA test enough to know that I am not affected?
 - B Can I leave the country?
 - C Where can I go to do a PCR exam?

Answers

1. The patient is asking if he should make a PCR test to be sure he hasn't got AIDS.
2. Is PCR more reliable than ELISA test (based on antibodies) for HIV testing?
3. A

| | |
|---|--|
| 1. DNA consist of | a. are complementary. |
| 2. Each nucleotide is made up | b. gives that organism its own unique genetic traits. |
| 3. The specific sequence of the four different nucleotides | c. two strands of repeating units called nucleotides. |
| 4. The four nitrogen bases | d. of a five-carbon sugar, a phosphate group, and a nitrogen base. |
| 5. Nitrogen bases of complementary strands are held together by | e. when the 5'/3' ends of their attached sugar-phosphate groups are oriented anti-parallel to one another. |
| 6. The pairs form hydrogen bonds | f. hydrogen bonds. |

Answers

1. c
2. d
3. b
4. a
5. f
6. e

UNA LETTURA VARI TASK

Ultimo esempio: un testo come quello presentato a destra, adattato da un articolo apparso su Nature, si presta a una serie di attività significative. I task proposti a corredo richiedono allo studente una lettura attenta, la ricerca di informazioni e una breve sintesi usando una struttura linguistica preimpostata.

After a lengthy review, the US Food and Drug Administration approved the first transgenic animals for human consumption: fast-growing salmon made by a company in Massachusetts. Some still fear that if the salmon escape, they could breed with wild fish and upset the ecological balance. To address such concern, fish geneticist Rex Dunham of Auburn University in Alabama has been using CRISPR to inactivate genes for three reproductive hormones – in this case, in catfish, the most intensively farmed fish in the United States. The changes should leave the fish sterile, so any fish that might escape from a farm, whether genetically modified or not, would stand little chance of polluting natural stocks. «If we're able to achieve 100% sterility, there is no way that they can make a genetic impact», Dunham says. Administering hormones would allow the fish to reproduce for breeding purposes. And Dunham says that similar methods could be used in other fish species.

Questions

1. Which of the following sentences are true?

- A The company used CRISPR to obtain fast-growing salmon.
- B Catfish is the first transgenic animals approved for fish consumption.
- C Fast-growing salmon are sterile.
- D Fish geneticist Rex Dunham used CRISPR to inactivate 3 genes in catfish.
- E Catfish can breed with salmon.
- F Three reproductive hormones are necessary for catfish fertility.
- G 100% sterility of catfish is necessary to prevent damage to the ecosystem.
- H Catfish sterility could be reversed using CRISPR technique.

2. What is the problem illustrated in the article? The problem is the A (*noun*) of B (*-ing form*) of the C (*noun*) with the D (*noun*).

3. What is the solution?

The solution is to A (*verb*) the B (*-ing form*) using CRISPR to C (*verb*) the D (*noun*) for three (*adj*) F (*noun*) of the G (*noun*).

Answers

1. D E F G

2. The problem is the possibility of breeding of the salmon with the catfish.

3. The solution is to prevent the breeding using CRISPR to inactivate the genes for three reproductive hormones of the catfish.

L'EFFICACIA DEL CLIL

E i risultati? L'approccio CLIL migliora o peggiora i risultati degli studenti nei test relativi ai contenuti? Le ricerche effettuate dimostrano che, in generale, gli studenti CLIL possiedono una conoscenza dei contenuti pari a quella degli studenti non CLIL, ma hanno competenze procedurali migliori e lavorano con più persistenza sul compito assegnato. Il merito va probabilmente diviso tra la lingua inglese, più diretta e senza fronzoli, e la metodologia. ●

COME STRUTTURARE LA LEZIONE CLIL

- Recuperare le preconcoscenze o nozioni già acquisite attraverso brainstorming o mappa concettuale.
- Fornire alcune parole chiave.
- Fornire l'input in maniera ridondante con forte supporto di elementi non linguistici (utilizzare gesti, frecce per indicare i rapporti di causa, scrivere alla lavagna numeri, parole chiave, acronimi ecc.).
- Chiarire i concetti astratti con esempi concreti, diagrammi, figure, foto, immagini.
- Evidenziare la struttura del discorso, la sua progressione logica (tempo, causa-effetto, conseguenza ecc.), con particolare attenzione ai connettivi.
- Scrivere e pronunciare le parole nuove.
- Enfatizzare gli aspetti essenziali.
- Riassumere una sequenza di senso prima di passare alla successiva.
- Alternare le modalità di lavoro per ottimizzare l'attenzione (lavoro frontale, a coppie, a gruppi).
- Lasciare uno spazio alla fine della lezione per fare una sintesi.

PER APPROFONDIRE

- Ball P., Kelly K., Clegg J., *Putting CLIL into practice*, Oxford University Press, 2015.
- Dalton-Puffer C., *Outcomes and processes in Content and Language Integrated Learning (CLIL): current research from Europe*, in *Future Perspectives for English Language Teaching*, Universitätsverlag Winter Heidelberg 2008. link.pearson.it/9OCC89C8
- Meyer O. et al., *A pluriliteracies approach to content and language integrated learning - mapping learner progressions in knowledge construction and meaning-making*, in *Language, Culture and Curriculum*, 2015, vol. 28. link.pearson.it/9C5D872
- Content and Language Integrated Learning, area tematica sul CLIL dell'European Centre for Modern Languages del Consiglio d'Europa. link.pearson.it/E7CBB95E

Monica Menesini

è laureata in Scienze Biologiche e insegna scienze naturali nelle scuole superiori. È docente CLIL, ha pubblicato due lezioni originali sulla piattaforma TED-ed (link.pearson.it/91EC9FBF e link.pearson.it/8E5CE05). È autrice di *Biology CLIL 3D* (Pearson Italia, 2017).



Il gusto del pH

di **Vincenzo Guarnieri**

L'acidità o basicità di un alimento ne influenza il sapore, ma come si è arrivati a definire il pH? Un affascinante percorso storico, dalle prime teorie su acidi e basi alla sua formula matematica.



La conservazione sottaceto, grazie al processo di acidificazione, abbatte gli agenti patogeni che colonizzano gli alimenti

Tutti gli alimenti di cui ci nutriamo possiedono un particolare valore di pH. A parte rari casi, come quello dell'albume dell'uovo che ha un pH di circa 9, questo valore è inferiore a 7. Quindi, il cibo di solito è acido. I detergenti con cui ci laviamo possono avere un pH acido, basico o neutro. Dipende da come vengono prodotti. Ma che cos'è il pH?

I libri di testo ci dicono che è "il logaritmo negativo della concentrazione degli ioni idrogeno". Per capire cosa vuol dire davvero questa definizione occorre prima capire che cos'è uno ione e che cos'è l'idrogeno. Ma prima ancora è meglio sapere che cosa significano i termini acido, basico e neutro.

PUNGENTE O AMARO?

Il succo di limone ha un gusto aspro e pungente. Anche l'aceto ha un gusto che si può descrivere nello stesso modo. Fin dall'antichità si è pensato che in questi liquidi fosse presente una sostanza con proprietà "pungenti", cioè un acido. Questo termine deriva infatti dal latino *acidus* la cui radice *ac* è la stessa da cui derivano termini come ago e acuo (rendere aguzzo). Mentre gli acidi hanno un gusto pungente, le basi (o alcali) vengono riconosciute dal loro gusto amaro. E anche dalla consistenza scivolosa che possono assumere.

SOSTANZE MOLTO VERSATILI

Gli impieghi degli acidi e delle basi iniziano molto presto. Uno dei sistemi, adottati già in passato per conservare il cibo, è l'acidificazione – come il classico sottaceto – processo che riduce la possibilità di crescita di agenti patogeni. E, a proposito di conservazione, gli Egizi trattavano i cadaveri per l'imbalsamazione con una base, il natron (un carbonato idrato di sodio), per le sue proprietà disidratanti. Con il passare del tempo, le conoscenze evolvono grazie alla scoperta dei metodi di preparazione degli acidi da parte degli alchimisti. Vengono prodotti in laboratorio dallo *spiritus acidus nitri* (acido nitrico HNO_3), allo *spiritus vitrioli* (acido solforico H_2SO_4), dall'acido

muriatico (nome ancora impiegato per l'acido cloridrico HCl) fino all'aqua regia (acqua regia, ottenuta con acido nitrico e cloridrico), in grado di sciogliere anche l'oro. Presto le proprietà corrosive e distruttive degli acidi diventano molto utili per indagare la natura intima della materia. E si inizia a comprendere che rapporto c'è tra gli acidi e le basi.

VIOLE E CAVOLI

Nel Seicento, l'alchimista Johann Rudolph Glauber nota che la reazione tra un acido e una base è spesso violenta e che, al termine del processo, quando le due sostanze "si sono uccise a vicenda", si forma sempre un sale. È da queste considerazioni che nasce il concetto di reazione di neutralizzazione, approfondito in quegli stessi anni da Robert Boyle. Il chimico irlandese, tra le altre cose, mette a punto per la prima volta un metodo per capire se una certa soluzione sia acida, basica o neutra, cioè per stimare il suo pH, come diremmo noi oggi (il concetto di pH nasce solo agli inizi del Novecento). Che cosa fa Boyle? Lascia cadere una goccia della soluzione da analizzare su un pezzo di carta impregnato di succo di viola. Se la soluzione è acida si accorge che il colore passa dal blu al rosso. Se invece è basica passa dal blu al verde. In caso di soluzione neutra rimane blu.



Dissoluzione del platino in acqua regia

In questo modo Boyle inventa gli indicatori colorati di pH. Data la sua semplicità, si tratta di un metodo alla portata di tutti: basta prendere qualche foglia di cavolo rosso, sminuzzarla e metterla a bollire in acqua per pochi minuti. Il liquido che si ottiene è di colore rosso-porpora intenso a causa della presenza di una classe di sostanze colorate chiamate antocianine. Queste sostanze sono molto impiegate nell'industria alimentare come coloranti e sono ottimi indicatori di pH (le viole impiegate da Boyle contenevano proprio antocianine).

TEORIE SULLA NATURA DEGLI ACIDI

Sempre nel Seicento va di moda la concezione meccanicista per la quale il mondo è come una macchina perfetta realizzata da Dio. Nell'ambito di questa concezione tutte le cose sono costituite da particelle (è ancora presto per parlare di atomi o molecole) le cui proprietà determinano le proprietà delle cose stesse. E così Nicolas Lémery ipotizza che gli acidi siano formati da particelle "appuntite" mentre le basi da particelle "porose". Il sapore aspro deriverebbe dunque dalla puntura delle particelle di un acido sulla lingua.

E in una reazione di neutralizzazione le particelle appuntite di un acido si infilano nei pori delle particelle di una base, neutralizzandosi.

Nel Settecento, Antoine-Laurent Lavoisier propone una spiegazione diversa. Egli si accorge che quando fa bruciare alcuni elementi come lo zolfo o il fosforo, ottiene sostanze (si tratta di ossidi) che sciolte in acqua diventano acidi. Deduce che durante la combustione debba esserci nell'aria qualcosa, un "principio", che entra in queste sostanze e le rende acide. Identifica questo principio in un gas scoperto pochi anni prima e che battezza ossigeno, dal greco *oxýs* (acido) e *génos* (generazione), cioè generatore di acidità.

La teoria in base alla quale tutti gli acidi contengono ossigeno viene confutata nel 1810 da Sir Humphry Davy. Il chimico inglese scompone l'acido cloridrico grazie all'elettrolisi e dimostra che, pur essendo indubbiamente un acido, non contiene ossigeno ma soltanto due elementi, idrogeno e cloro. Prende piede così una nuova teoria che vede nell'idrogeno il principio presente in tutti gli acidi. Lavoisier non può ricevere la notizia perché già morto, ghigliottinato.

ARRIVANO GLI IONI

Un allievo di Davy, Michael Faraday, approfondisce gli studi sull'elettrolisi e nota che questo processo avviene in presenza di certe sostanze, ma non di altre. Chiama le prime "elettroliti" e le seconde "non elettroliti". Ipotizza che quando si scioglie un elettrolita nell'acqua si formi qualcosa in grado



Celle per l'elettrolisi dell'acqua

di trasportare la corrente elettrica e chiama quel qualcosa "ione", dal greco *ión* che significa "viandante". Ma non sa che cosa sia.

VERSO LA PRIMA DEFINIZIONE SCIENTIFICA DI ACIDO E BASE

Il passo successivo è compiuto nella seconda metà dell'Ottocento da Svante August Arrhenius. Il chimico svedese comprende che gli elettroliti sciolti in acqua si dissociano formando particelle con carica positiva e particelle con carica negativa. Queste particelle cariche possono essere atomi singoli o gruppi di atomi: in ogni caso si tratta proprio degli ioni ipotizzati da Faraday.

I sali si dissociano in questo modo formando ioni, e la stessa cosa succede con gli acidi. Questi ultimi, secondo Arrhenius, si dissociano liberando ioni negativi, che cambiano a seconda del tipo di acido, e ioni positivi che sono sempre gli stessi indipendentemente dal tipo di acido: sono gli ioni idrogeno, dotati di una carica positiva

e indicati con H^+ . Davy aveva quasi ragione, gli acidi contengono sempre idrogeno ma non in forma atomica neutra bensì in forma ionica carica. Arrhenius studia anche le basi e osserva che la loro dissociazione in acqua genera sempre ioni ossidrilici OH^- . A questo punto presenta la prima definizione con la quale si distingue chimicamente un acido da una base: "Un acido è una qualsiasi sostanza che sciolta in acqua è in grado di dissociarsi e liberare ioni idrogeno H^+ , mentre una base è una qualsiasi sostanza che sciolta in acqua è in grado di dissociarsi e liberare ioni ossidrilici OH^- ". Così diventa facile spiegare cosa succede nelle reazioni di neutralizzazione tra un acido e una base: gli ioni H^+ reagiscono con gli OH^- formando H_2O , cioè acqua, la sostanza neutra per eccellenza.

L'IMPORTANZA DEL PH

A questo punto i tempi sono maturi per l'introduzione del concetto di pH che avviene nel 1909 a opera di Søren Peter Lauritz Sørensen. Il pH è un valore numerico legato da una formula matematica alla concentrazione di ioni H^+ . È in pratica un modo diverso, più comodo, per indicare l'acidità o la basicità delle sostanze. Oggi si sente parlare spesso di pH. Per pubblicizzare un certo prodotto commerciale o una certa dieta. Ma anche perché gli acidi e le basi trovano innumerevoli impieghi, dalla produzione dei coloranti a quella dei saponi. E il nostro metabolismo, come quello degli altri esseri viventi, dipende dagli equilibri acido-base e, di conseguenza, dai valori di pH. Il nostro sangue ha un pH di 7,4 e questo valore viene mantenuto costante con una certa accuratezza da una serie di complessi meccanismi di regolazione: un loro minimo malfunzionamento può compromettere la vita. Il pH è un concetto relativamente nuovo, ma è meglio tenerlo in conto. ●



Esempio di indicatore pH



Il nostro organismo mantiene costante il pH del sangue, qualsiasi siano gli alimenti che abbiamo assunto

UNA BUFALA NEL PIATTO

Da diversi anni gira in rete la proposta della cosiddetta dieta alcalina, una dieta a base di particolari alimenti, come le verdure crude, che dovrebbero alcalinizzare (cioè alzare il pH) del sangue e dei tessuti. Chi la propone sostiene che questa dieta, oltre a far dimagrire, possa combattere infezioni e tumori. Ma in realtà è una bufala, totalmente priva di fondamento scientifico. Per quale ragione? Semplice: gli alimenti sono quasi tutti acidi e il nostro organismo è predisposto a gestire l'acidità senza problemi. Tanto più che lo stomaco produce acido cloridrico e il pH può raggiungere valori compresi tra 1 e 2: quando il cibo raggiunge lo stomaco viene comunque acidificato e non può influire sul pH del sangue e dei tessuti. Tale pH è mantenuto costante intorno al valore di 7,4 da un complesso sistema di regolazione basato soprattutto sulla respirazione. Se venisse alcalinizzato si andrebbe in alcalosi metabolica, potenzialmente mortale (su questo tema leggi anche un approfondimento dell'Associazione italiana per la ricerca sul cancro: link.pearson.it/2608CA32)

L'INVENZIONE DEL PH

Nel 1901 il biochimico danese Søren Peter Lauritz Sørensen diventa direttore del dipartimento di chimica del Carlsberg Laboratory di Copenhagen. Tra le sue ricerche si occupa dell'effetto sulle proteine di piccole variazioni di acidità. Per misurare l'acidità impiega un elettrodo sensibile alla presenza di ioni H^+ con il quale compie misure potenziometriche. Il potenziale di un elettrodo dipende dal logaritmo della concentrazione degli ioni H^+ e per lo scienziato è più comodo impiegare tali valori che non quelli delle concentrazioni stesse. Propone quindi nel 1909 di indicare l'acidità di una soluzione con il logaritmo negativo della concentrazione di H^+ , cioè con una nuova grandezza che chiama pH (da *pondus hydrogenii*, potenziale dell'idrogeno), uguale appunto a $-\log[H^+]$. Nasce anche la scala del pH che va da 0 a 14, con valore 7 per soluzioni neutre. Il pH di una soluzione si può ottenere facilmente immergendo al suo interno l'elettrodo del cosiddetto pHmetro (si legge piaccemetro).

PER APPROFONDIRE

- *Development of the theory of electrolytic dissociation*, Nobel lecture di Svante August Arrhenius, 1903. link.pearson.it/BF019B88
- *The strengths and weaknesses of acids and bases*, video TED-Educational. link.pearson.it/C806AB1E
- *Søren Sørensen*, biografia del chimico danese dal sito della Chemical Heritage Foundation. link.pearson.it/510FFAA4

Vincenzo Guarnieri

è chimico e ha un dottorato di ricerca in biochimica e biotecnologia cellulare. Si occupa di comunicazione della scienza. Ha pubblicato *Maghi e reazioni misteriose* (Lapis edizioni, 2007), una storia della chimica per ragazzi. È autore di *Curiosi di chimica e MasterChimica* (Pearson Italia, 2017).



Scheda Didattica / Il gusto del pH

di **Vincenzo Guarnieri**

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Perché il sottaceto funziona come sistema di conservazione del cibo?
2. Robert Boyle è stato il primo a impiegare gli indicatori colorati di pH. Di che cosa si tratta?
3. Come ha fatto Humphry Davy a scoprire che nell'acido cloridrico non c'è ossigeno ma ci sono soltanto idrogeno e cloro?
4. Nel 1903 Svante August Arrhenius riceve il premio Nobel per la chimica grazie alla sua teoria della dissociazione elettrolitica. In che cosa consiste questa teoria?

5. VERO O FALSO?

- a. Gli acidi sono stati riconosciuti in passato per il loro gusto amaro, mentre le basi per il gusto acido. V F
- b. L'acqua regia si chiama così perché è in grado di sciogliere anche i metalli nobili come l'oro. V F
- c. Antoine-Laurent Lavoisier sosteneva che in tutti gli acidi fosse presente il "principio ossigeno", cioè l'ossigeno. V F
- d. Nel 1909 il chimico danese Søren Peter Lauritz Sørensen ha dichiarato che il concetto di pH non è di alcuna utilità per la scienza. V F

6. I detersivi per il corpo vengono spesso pubblicizzati mettendo in evidenza il fatto che il loro pH "rispetta" la nostra pelle. Si tratta di una semplice operazione di marketing o esiste un fondamento scientifico? L'acidità o la basicità di un sapone che entra in contatto con il nostro corpo può davvero influire sugli effetti che quel prodotto ha sulla salute della pelle? In che modo?

7. Tra i vari agenti lievitanti utilizzati in pasticceria c'è la cosiddetta ammoniaca per dolci. In verità non si tratta di ammoniaca ma di un sale derivato da questa sostanza basica, cioè il bicarbonato di ammonio (di formula NH_4HCO_3). Aggiunto nell'impasto, questo sale permette la lievitazione perché alle alte temperature raggiunte all'interno del forno avviene una reazione chimica che produce diossido di carbonio (CO_2) e ammoniaca (NH_3). È soprattutto il diossido di carbonio a far lievitare la struttura dell'impasto. L'ammoniaca che si forma ha un odore sgradevole per cui occorre creare le condizioni affinché venga totalmente rilasciata prima della fine della cottura: bisogna disperdere molto bene nell'impasto la polvere di questo agente lievitante e, soprattutto, bisogna impiegarlo per la preparazione di quei dolci che prevedono impasti poco acquosi (l'acqua trattiene l'ammoniaca) come, per esempio, la pasta frolla o i savoiardi. Immagina di essere un cuoco famoso per aver inventato un nuovo tipo di savoiardo. Devi scrivere la ricetta di questa tua invenzione per un importante libro di cucina. Come la scrivi? Considera che per la lievitazione impieghi l'ammoniaca per dolci, per cui ricorda di evidenziare gli accorgimenti da adottare affinché il tuo savoiardo non sappia di ammoniaca.

Scheda Didattica / Il gusto del pH

di **Vincenzo Guarnieri**

RISPOSTE

1. Perché l'acidificazione riduce la crescita di agenti patogeni.

2. Gli indicatori colorati di pH sono sostanze che cambiano colore in base al pH.

3. Davy ha scomposto l'acido cloridrico grazie al processo dell'elettrolisi, osservando che ai due elettrodi si formavano idrogeno e cloro gassosi.

4. Gli elettroliti – cioè quelle sostanze che sono in grado di trasportare la corrente elettrica in una cella elettrolitica – sciolti in acqua si dissociano formando particelle con carica positiva e particelle con carica negativa.

5. a. F; b. V; c. V; d. F.

6. Al di là dell'operazione di marketing, esiste davvero un fondamento scientifico. La pelle ha un pH tendenzialmente acido ed è utile tenerne conto quando si mette a contatto con un detergente. Quest'ultimo deve avere un livello di acidità il più possibile simile a quello della pelle in modo da non provocare alterazioni eccessive del pH che potrebbero risultare dannose. Inoltre, bisogna considerare che il pH della pelle non è lo stesso su tutto il corpo. Esiste un delicato equilibrio tra il sebo prodotto dalle ghiandole sebacee e il sudore. Il pH dipende da tale equilibrio e questo è leggermente diverso a seconda che ci si trovi sulle mani o sul viso, per esempio. Quindi può avere senso impiegare detergenti diversi su diverse parti del corpo.

Vincenzo Guarnieri

è chimico e ha un dottorato di ricerca in biochimica e biotecnologia cellulare.

Si occupa di comunicazione della scienza. Ha pubblicato *Maghi e reazioni misteriose* (Lapis edizioni, 2007), una storia della chimica per ragazzi.

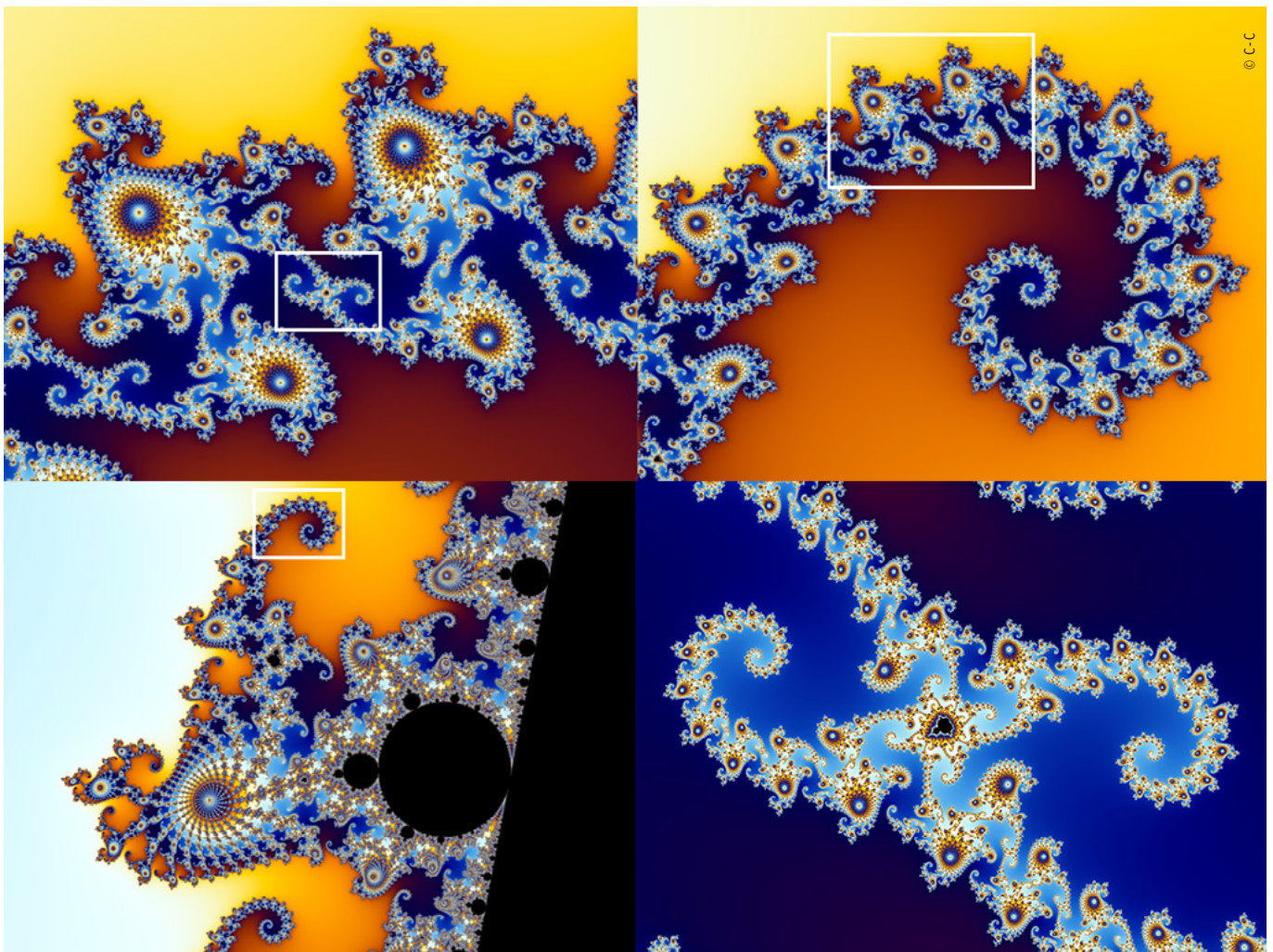
È autore di *Curiosi di chimica e MasterChimica* (Pearson Italia, 2017).



I frattali tra estetica e matematica

di **Giovanna Guidone**

Affascinanti oggetti matematici che ripresentano, a scale più piccole, la stessa struttura che hanno a scale più grandi: sono i frattali, scoperti dal matematico Mandelbrot e oggi utilizzati in moltissimi campi, dalla cosmologia alla medicina.



Ingrandimenti successivi della Valle dei cavallucci marini, particolare dell'insieme di Mandelbrot

Centro di ricerca Thomas Watson dell'IBM, Stato di New York, 1979. Un matematico polacco educato in Francia, conclusa una dura giornata di lavoro, se ne va a casa. Sul tavolo lascia un foglio con sopra una macchia nera a forma di cuore con annesso un certo numero di regioni più piccole dai confini non troppo netti e, qui e là, qualche puntino d'inchiostro.

È la rappresentazione grafica delle soluzioni di un problema al quale stava lavorando da anni. Benoit B. Mandelbrot, questo il nome del matematico, lascia un biglietto per il collega che lo precederà l'indomani mattina: «Occhio, queste macchie non sono dovute alla stampante, che funziona benissimo: c'è qualcosa da scoprire nell'insieme che stiamo studiando».

L'INSIEME DI MANDELBROT

Nei giorni successivi, zoomando su quei punti d'inchiostro, Mandelbrot scopre che il contorno delle regioni nere ha una struttura di infinita complessità che riproduce in miniatura la medesima sequenza delle regioni più grandi. Ogni volta, cioè, che si ingrandisce l'immagine e si esplorano parti sempre più piccole, si trovano infinite repliche delle strutture macroscopiche dell'insieme. Nella figura di apertura potete vedere ingrandimenti successivi della macchia d'inchiostro stampata sul foglio quella sera del 1979: essa, nel suo complesso, viene detta *insieme di Mandelbrot* e la zona ingrandita in figura è chiamata *Valle dei cavallucci marini*.

Si tratta forse dell'esempio più famoso di oggetto *frattale*, una parola che Mandelbrot aveva già inventato per descrivere regioni composte di linee spezzate (dal latino *fractus*), dall'andamento apparentemente irregolare. Se fate un giro sul Web (per esempio su Wikipedia, link.pearson.it/1DAD58B3) potete esplorare in modo interattivo l'insieme di Mandelbrot a scale sempre più piccole e sperimentare, per usare le parole dello stesso studioso, un'esperienza di tipo estetico prima ancora che matematico.

OGGETTI INFINITAMENTE SIMILI A LORO STESSI

Il fascino dei frattali è legato soprattutto alla loro auto-similarità. Un insieme auto-simile è un insieme che ripresenta, a scale sempre più piccole, la stessa struttura che possiede a scale più grandi. Per chiarire questo concetto vi propongo un esempio famoso, quello del *fiocco di neve*. Con questo nome si indica una curva piana, inventata dal matematico svedese Helge von Koch nel 1904, che si può costruire seguendo la figura qui a fianco. Partite dal segmento della prima riga, dividetelo in tre parti uguali e rimuovete quella centrale; sostituite ora, al posto del pezzo rimosso, due lati di un triangolo equilatero. Avrete così una linea spezzata costituita da quattro segmenti (ciascuno dei quali lungo $\frac{1}{3}$ del segmento originario) come quella della seconda riga. Ora passate alla terza riga ripetendo quanto appena fatto per ciascuno dei quattro segmenti della figura della seconda riga. La nuova linea sarà costituita da quattro tratti che sono copie in scala (1:3) della linea precedente. Potete immaginare di iterare questo procedimento tante volte. Ma tante quante?, potreste chiedervi. Bisogna che immaginate di ripetere questa procedura all'infinito: ciò che otterrete "alla fine" è il fiocco di neve di Koch. Se provaste a guardare un pezzettino di questa curva con una lente d'ingrandimento, vedreste che su ogni lato ci sono

triangoli equilateri e su ciascuno di questi ci sono triangoli equilateri più piccoli e via dicendo, in una struttura infinitamente frastagliata.

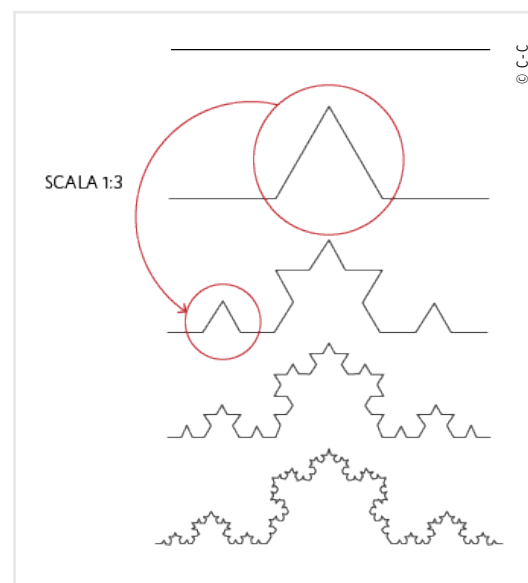
In effetti, la curva di Koch non è che un primo esempio di un insieme affascinante di oggetti auto-simili; nelle figure alla pagina seguente potete vedere immagini che richiamano altri due frattali famosi: la *fiaschetta di Sierpinski* e la *spugna di Monger*.

COME LA VITA NELL'UNIVERSO

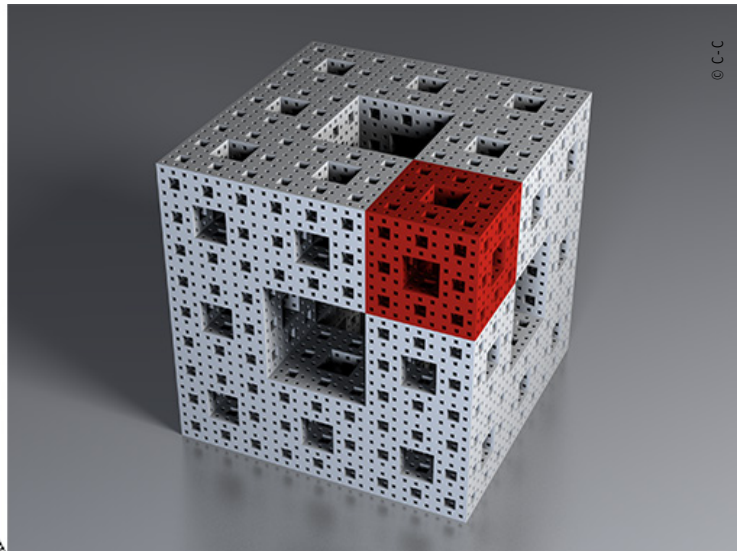
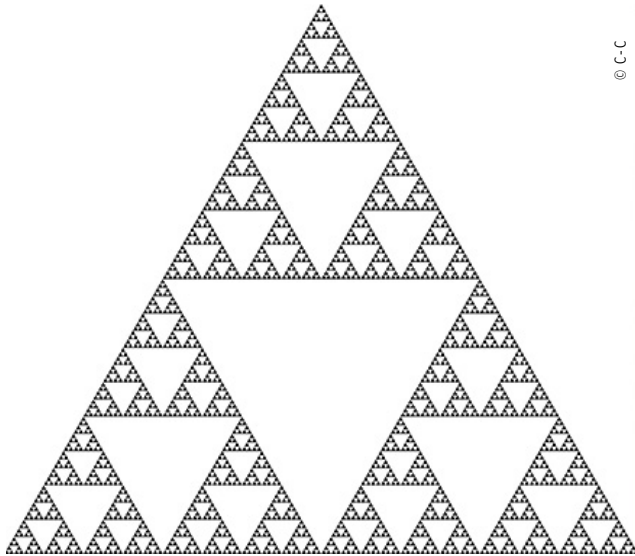
Se nel riflettere su oggetti di questo tipo avete provato un po' di stupore, state pur certi di essere in buona compagnia. Il matematico napoletano Ernesto Cesàro, infatti, scrisse: «È questa similitudine tra il tutto e le sue parti, perfino quelle infinitesimali, che ci porta a considerare la curva di Koch alla stregua di una linea veramente meravigliosa tra tutte. Se fosse dotata di vita, non sarebbe possibile annientarla senza sopprimerla al primo colpo, poiché in caso contrario rinascerrebbe incessantemente dalle profondità dei suoi triangoli, come la vita nell'universo». A proposito, per chi ha già studiato un po' di analisi matematica, osserviamo che la curva di Koch è continua, ma è non derivabile in tutti i punti che la costituiscono.

UNA NUOVA GEOMETRIA

L'auto-similarità rappresenta un nuovo codice interpretativo nell'indagine della realtà: a differenza della geometria euclidea, così rigida nel rappresentare il mondo visibile, e talora così lontana dalle forme reali, la geometria dei frattali è capace di rappresentare i profili di una montagna o di una costa, le nuvole, le strutture cristalline e molecolari, e addirittura le galassie.



Il fiocco di neve inventato dal matematico svedese Helge von Koch nel 1904



Famosi frattali sono anche la *fiaschetta di Sierpinski* e la *spugna di Monger*

Nelle parole dello stesso Mandelbrot, «i frattali servono a trovare una nuova rappresentazione che parta dall'idea di base che il piccolo in natura non è nient'altro che una copia del grande».

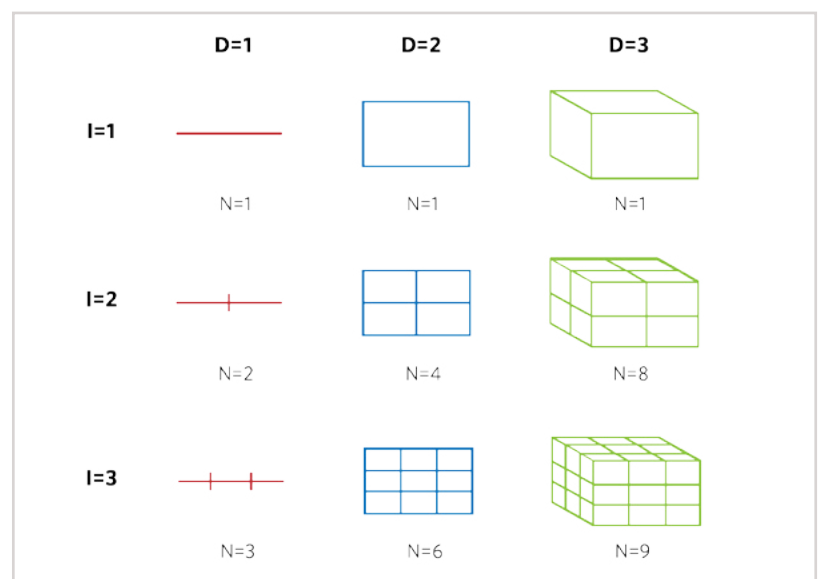
LA COSTA DEGLI USA

Per comprendere meglio l'intuizione di Mandelbrot e il successo della sua nuova geometria, consideriamo il famoso esempio della descrizione di una costa frastagliata. Se guardassimo su un atlante a larga scala la costa orientale degli Stati Uniti, essa apparirebbe come una linea liscia di circa 4000 km. Se considerassimo la stessa costa a una scala più fine, la vedremmo molto più frastagliata, e quindi anche più lunga.

Se fossimo a bordo di un aereo, potremmo valutare insenature e promontori e arriveremmo a dire che la sua lunghezza è di circa 8000 km. Se, invece, la percorressimo a piedi, dovremmo camminare per 25 000 km e se una formica longeva si mettesse nella stessa impresa, dovrebbe percorrere 50 000 km. Per descrivere in modo efficace la complessità di questa costa occorre pertanto una struttura auto-simile, la sola in grado di rendere conto di quanto succede a diverse scale di osservazione: usando una consueta curva della geometria euclidea, riusciremmo a rappresentare solo ciò che avviene a una certa scala (per esempio quella della veduta aerea), ma saremmo condannati a perdere tutte le informazioni sulla struttura più fine (per esempio quella osservata dalla formica). Infatti, le curve della geometria euclidea, quando si zoomano, si approssimano bene con delle rette, ma non accade così per i frattali: ogni volta che zoomiamo un frattale, da esso riemerge una curva altrettanto frastagliata di quella a scala superiore.

LA DIMENSIONE DI UN FRATTALE

Le curve frattali del piano sono, per così dire, infinitamente frastagliate e riempiono il foglio in modo più "fitto" delle curve considerate dalla geometria euclidea. Mandelbrot insegnò a misurare queste proprietà dei frattali utilizzando un concetto di dimensione inventato dal matematico tedesco Felix Hausdorff nel 1918. Vediamo di che cosa si tratta. Nessuno ha esitazioni nel distinguere una figura bidimensionale da una tridimensionale: la nozione di dimensione classica (che si chiama dimensione topologica) ci risulta abbastanza familiare e intuitiva sin dall'infanzia (sebbene la definizione rigorosa sia in effetti un affare un po' delicato). Curve come il fiocco di neve, però, hanno sollecitato i matematici a inventare un nuovo concetto di dimensione che è troppo tecnico



per questo contesto, ma che può essere spiegato bene nell'esempio della curva di Koch e di altri oggetti auto-simili. Riflettiamo dapprima su una proprietà che distingue gli oggetti unidimensionali da quelli bidimensionali e tridimensionali in senso classico. Prendiamo, per esempio, un quadrato bidimensionale e immaginiamo di fare una fotocopia a scala del 50% (cioè un'omotetia di coefficiente $\frac{1}{2}$): quanti quadrati rimpiccioliti servono per coprire il quadrato iniziale? Ovviamente 4. E se riducessimo al 50% un cubo, quanti cubi occorrerebbero per riformare un cubo grande come quello iniziale? Questa volta sono 8. Ebbene, la dimensione di Hausdorff è quel numero n tale che $(1/k)^n = 4,8$ ecc., dove k è il fattore di scala. Nel caso considerato, quindi, $k = \frac{1}{2}$ e quindi $n = 2$ per il quadrato e $n = 3$ per il cubo (osservate che, cambiando il coefficiente di omotetia, il risultato non cambia). Troviamo qui la conferma di una cosa che ci ha insegnato la maestra: il quadrato, che è una figura piana, ha dimensione due mentre il cubo ha dimensione tre. Passiamo ora alla curva di Koch e troveremo una sorpresa. Concentratevi sulla seconda riga della figura: se restringete la curva di un fattore $\frac{1}{3}$, avete bisogno di 4 pezzetti per riformare la curva (come descritta nella terza riga della figura). Quindi: $(1:\frac{1}{3})^n = 4$ cioè $3^n = 4$, il che dà $n = \ln 4 : \ln 3$! La cosa rilevante è che, questa volta, la dimensione di Hausdorff non è un intero, e, più precisamente, è un numero strettamente compreso tra 1 e 2. Alla scuola elementare ci hanno taciuto alcune cose importanti: esistono curve nel piano che sono così frastagliate da avere dimensione più grande di uno (e più piccola di due). Per quanto sconcertante, la possibilità di associare a oggetti geometrici una dimensione non intera, apre prospettive straordinarie che accenniamo brevemente di seguito. Va detto però che non tutti i frattali hanno dimensione non intera (per esempio l'insieme di Mandelbrot ha dimensione 2): potete apprezzare una bella classificazione di alcuni frattali in base alla loro dimensione all'indirizzo link.pearson.it/84A40909

A COSA SERVONO I FRATTALI?

Ai frattali associamo immagini suggestive come rilievi montuosi, cavolfiori, coste marine, fiocchi di neve, nubi, tutte caratterizzate da un'elegante simmetria interna e da un alto grado di "complessità microscopica". In effetti l'applicazione di concetti e metodi propri della geometria frattale spazia in campi inaspettati: con modelli frattali si spiegano alcuni comportamenti dei mercati finanziari, in cosmologia si può descrivere la distribuzione della materia visibile luminosa, si può generare musica che assicura un buon equilibrio tra prevedibilità e sorpresa. Non solo: la geometria frattale si usa per studiare gli organismi marini, i terremoti, la formazione dei fulmini. E di certo, quel giorno del 1979 il collega di Mandelbrot, davanti a un foglio pieno di macchie d'inchiostro, mai avrebbe immaginato che, in soli vent'anni, i frattali si sarebbero resi necessari per leggere una TAC o descrivere la struttura tridimensionale del genoma umano. ●

CHE COS'È UN'OMOTETIA

Dato un punto O del piano e un numero reale $k > 0$, si dice *omotetia (diretta)* di centro O e rapporto k la trasformazione del piano che a O fa corrispondere O e ad ogni punto $P \neq O$ fa corrispondere un punto P' tale che:

- P e P' giacciono sulla stessa semiretta uscente da O ;
- $P'O : PO = k$.

Si possono considerare anche *omotetie inverse*, in cui P e P' giacciono sulla stessa retta passante per O ma da parti opposte. In questo caso si può convenire di parlare di rapporto negativo.

Giovanna Guidone

dopo la laurea in matematica all'Università di Pavia e il dottorato in fisica matematica a Pisa si è dedicata all'insegnamento nella scuola secondaria ed è titolare dei corsi di analisi e di statistica e probabilità all'Università Politecnica delle Marche. Ama la storia e le storie della matematica.



Scienza da non perdere

di **Valentina Murelli**

Libri, siti, video, app, mostre, festival: un mondo di oggetti e iniziative che parlano di fisica, chimica, biologia, scienza della Terra o altro ancora. In questa pagina, una selezione di proposte per espandere i propri orizzonti scientifici.

Libri

UN MONDO DI MONDI

C'è vita nell'Universo, oltre a quella sulla Terra? È una domanda che ci poniamo da sempre, tra speculazioni filosofiche e progetti altamente tecnologici, come la ricerca di esopianeti che potrebbero ospitarla. La risposta, ovviamente, non l'abbiamo ancora, ma per il filosofo Giulio Giorello e il fisico Elio Sindoni non importa: quello che importa, invece, è analizzare tutto quello che, nei secoli, si è mosso attorno alla questione. Discussioni religiose e filosofiche e ricerche scientifiche, appunto, ma anche tanta arte, tra libri, fumetti e film – l'ultimo è *Arrival*, del regista Denis Villeneuve, uscito nel 2016 – che hanno messo al centro della narrazione proprio la ricerca di altre forme di vita, possibilmente intelligenti.

Giorello G., Sindoni E., *Un mondo di mondi*, Raffaello Cortina, Milano 2016. link.pearson.it/7774A4CF

AVVENTURE NELL'ESSERE UMANO

Un libro affascinante non solo per chi sta pensando di iscriversi a un corso di laurea di ambito medico, ma anche per chi, in generale, vorrebbe saperne di più del funzionamento del nostro corpo – in salute e in malattia – e delle relazioni tra corpo ed esistenza. Lo ha scritto un medico con una biografia decisamente particolare: oggi è medico di famiglia in Scozia, ma ha lavorato in una base antartica, ha viaggiato a lungo per il mondo ed è anche, appunto, scrittore. Nel volume – dal suggestivo attacco “La prima volta che ho tenuto tra le mani un cervello umano avevo diciannove anni” – intreccia ricordi personali di studio, viaggio o lavoro descrizioni anatomiche e fisiologiche, casi clinici e racconti storici.

Francis G., *Avventure nell'essere umano*, EDT, Torino 2016
link.pearson.it/739459

Sul web

LA TERRA VISTA DALLO SPAZIO

Oltre 260 video (a febbraio 2017) relativi a immagini del nostro pianeta catturate da satelliti spaziali – un esempio su tutti: la neve che ha imbiancato la Sicilia a inizio 2017 – e commentati da esperti. Ma anche interviste a ricercatori di ambito spaziale o speciali dedicati a missioni particolari.

Li propone l'ESA, Agenzia spaziale europea, in un canale tv dedicato: sono chiari, semplici, con immagini spesso spettacolari, durano pochi minuti e permettono di farsi un'idea di aspetti particolari della Terra o delle frontiere di ricerca nelle quali è impegnata l'agenzia.

Earth from Space Programme. link.pearson.it/F9BD4C06

RESISTENZA!

Immaginate un mondo in cui anche minime ferite possono essere letali, il trapianto di organi non sia possibile e anche gli interventi chirurgici meno invasivi siano incredibilmente rischiosi. È il mondo com'era fino a circa un secolo fa, quando ancora non conosceamo gli antibiotici, e come potrebbe tornare in un futuro non troppo lontano, se il problema della diffusione della resistenza di vari ceppi batterici agli antibiotici stessi non troverà una soluzione. È un tema ben presente alla comunità scientifica internazionale, e sta per occuparsene un nuovo programma in tre puntate in onda a marzo sul canale 4 della BBC (ovviamente in inglese), a metà tra radiodramma e radiodocumentario scientifico.

BBC Radio 4. link.pearson.it/67D9D9A5

McKie R., *Antibiotic Abuse: the Nightmare Scenario*, *The Guardian*, febbraio 2017. link.pearson.it/10DEE933

Musei

CORPOREA

Il primo museo interattivo in Italia e in Europa dedicato interamente al tema della salute, delle scienze e tecnologie biomedicali e della prevenzione è pronto ad aprire i battenti. Si chiama Corporea e verrà inaugurato il prossimo 4 marzo a Napoli, all'interno di Città della Scienza. Una data non casuale, visto che 4 anni fa, proprio il 4 marzo, un vasto incendio di probabile origine dolosa ha danneggiato la gran parte della struttura. Città della Scienza in realtà è ripartita subito, con iniziative, esposizioni temporanee e altro ancora, ma questa esposizione permanente, accompagnata da laboratori didattici e incontri informativi, ne segna la definitiva e grandiosa rinascita.

Corporea, Città della Scienza di Napoli.

link.pearson.it/8EBA7C90

Mostre

IL GRANDE LIBRO DELLA VITA

Tutto quello che avreste voluto sapere sul DNA, da Mendel alla genomica e oltre: passato (le leggi dell'ereditarietà, la doppia elica, il DNA ricombinante), presente (clonazione, genetica forense, ingegneria genetica) e futuro (biologia sintetica, medicina

personalizzata) in una grande mostra a Roma. Una mostra "immersiva e interattiva", tra testi, video, immagini, reperti originali ed exhibit.

E come se non bastasse, per tutto il periodo dell'esposizione sono in programma incontri con scienziati e proiezioni di film a tema.

DNA. Il grande libro della vita da Mendel alla genomica, Palazzo delle Esposizioni di Roma.

Fino al 18 giugno 2017.

link.pearson.it/60B41DBC

ABISSI, TERRA ALIENA

Un ambiente buio, freddo, e con una pressione che aumenta di un'atmosfera ogni dieci metri: è il mare oltre i 200 metri di profondità. L'abisso, insomma, un ambiente estremo ma non per questo disabitato. Certo, non c'è folla, ma ci sono comunque vari organismi (e altri probabilmente ne dobbiamo ancora scoprire), perfettamente adattati a queste particolari condizioni di vita.

A Livorno, una mostra presenta oltre 100 esemplari di fauna abissale – tra i più spettacoli il calamaro gigante e lo squalo capo piatto – esponendoli in una semioscurità che ricorda quella dalla quale provengono.

Abissi, terra aliena. Museo di storia naturale del Mediterraneo di Livorno.

Fino al 19 maggio 2017.

link.pearson.it/17B32D2A ●

Valentina Murelli

è giornalista e science writer freelance.



Comitato editoriale: Valeria Cappa, Marika De Acetis, Valentina Murelli

Coordinamento e progettazione: Valentina Murelli

Redazione e ricerca iconografica: Jacopo Cristini

Progetto grafico: Shiroy Studio srl

Impaginazione: Chiara Contrino, Eleonora Cittadin

Immagine di copertina: Colorful Fractal Background

Credit: © Shutterstock/Yurkina Alexandra

Pubblicazione aperiodica distribuita gratuitamente nelle scuole, pubblicata da Pearson Italia S.p.A. Corso Trapani 16, 10139, Torino. L'editore è a disposizione per gli aventi diritti per eventuali non volute omissioni in merito a riproduzioni grafiche e fotografiche inserite in questo numero. Si autorizza la riproduzione elettronica e cartacea per l'uso didattico in classe.

Tutti i diritti riservati © 2017 Pearson Italia. www.pearson.it