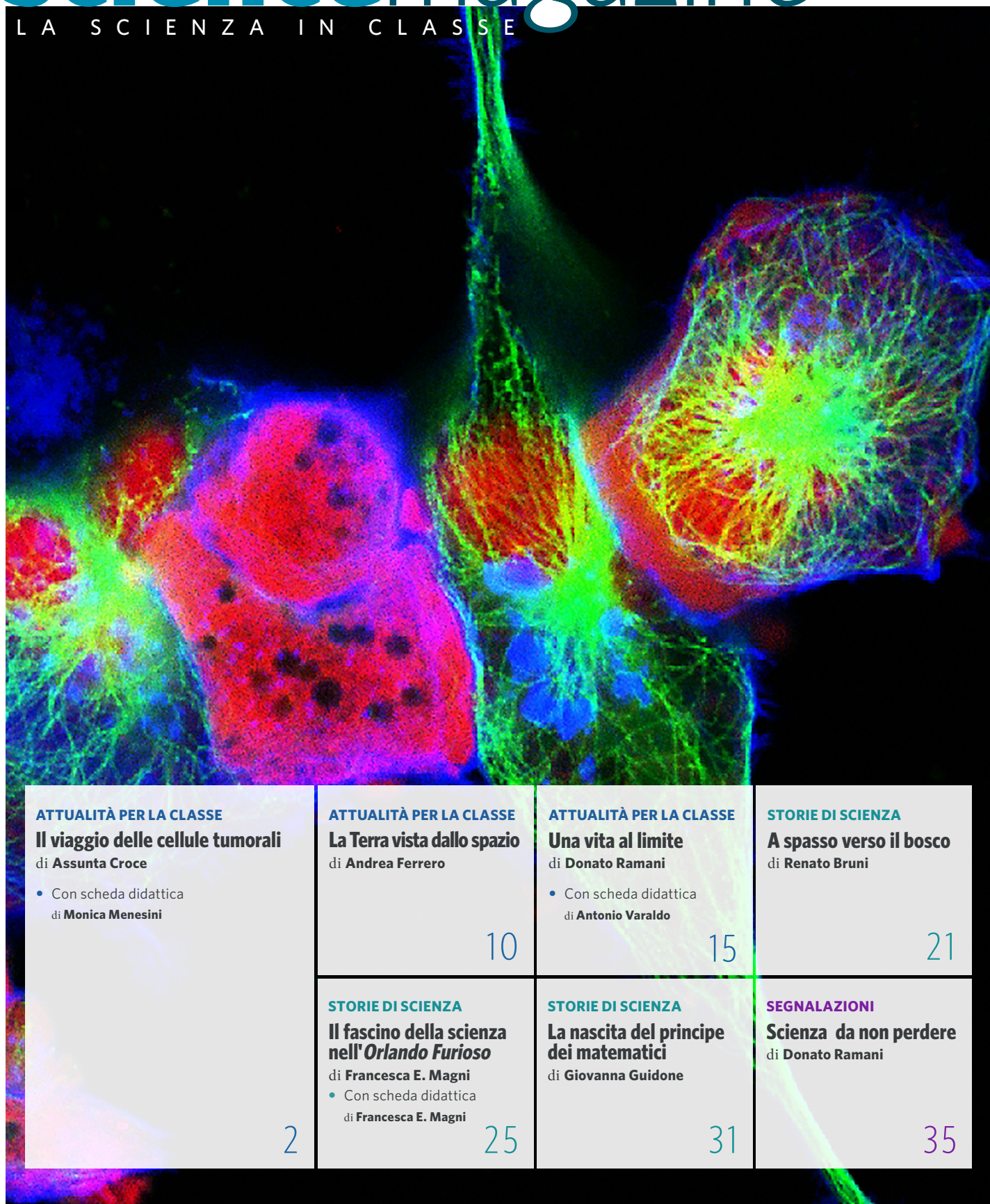




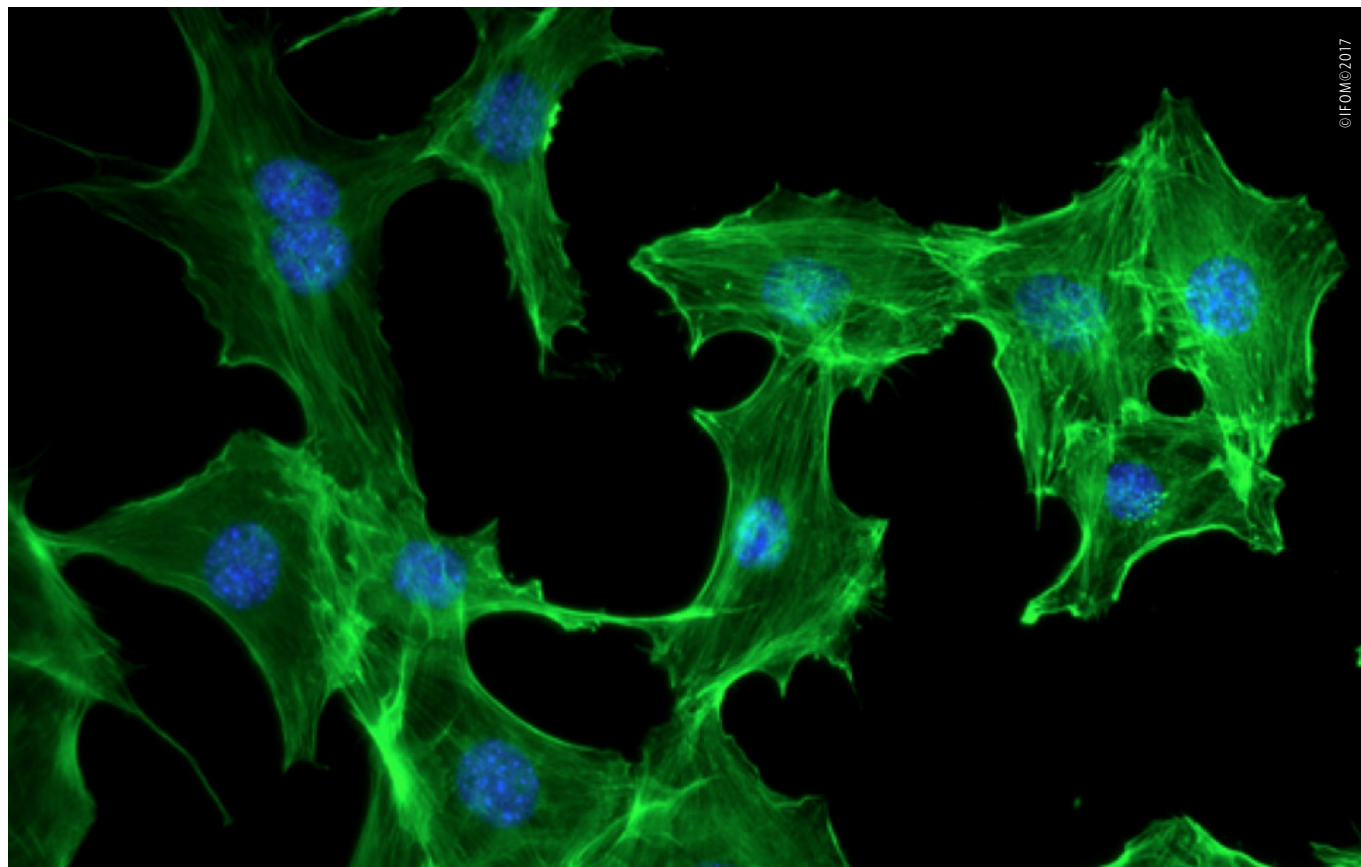
LA SCIENZA IN CLASSE

ATTUALITÀ PER LA CLASSE Il viaggio delle cellule tumorali di Assunta Croce Con scheda didattica di Monica Menesini	ATTUALITÀ PER LA CLASSE La Terra vista dallo spazio di Andrea Ferrero	ATTUALITÀ PER LA CLASSE Una vita al limite di Donato Ramani Con scheda didattica di Antonio Varaldo	STORIE DI SCIENZA A spasso verso il bosco di Renato Bruni
2	10 STORIE DI SCIENZA Il fascino della scienza nell'Orlando Furioso di Francesca E. Magni Con scheda didattica di Francesca E. Magni	15 STORIE DI SCIENZA La nascita del principe dei matematici di Giovanna Guidone	21 SEGNALAZIONI Scienza da non perdere di Donato Ramani
	25	31	35

Il viaggio delle cellule tumorali

di **Assunta Croce**

Per nostra fortuna, la formazione di metastasi non è un processo così semplice, perché prevede un viaggio lungo e irto di ostacoli. In questo articolo ne ripercorriamo le tappe.



© IFOM©2017

Fibroblasti murini osservati al microscopio a fluorescenza: in blu sono visibili i nuclei, in verde l'actina, che è uno dei principali costituenti del citoscheletro cellulare

Superare barriere ed evitare controlli, infiltrarsi tra le maglie di una fitta rete e resistere a vortici travolgenti, e ancora sgusciare attraverso spazi angusti: tutto per riuscire a sopravvivere e andare avanti. Non si tratta della trama di un film d'azione, ma del difficile e tortuoso percorso che le cellule tumorali intraprendono dal luogo nel quale si sono formate – il tumore primario – a un altro punto dell'organismo, dando origine a una metastasi. Un viaggio lungo, complesso, irto di ostacoli e, per nostra fortuna, molto inefficiente: gli studi più recenti mostrano come meno dello 0,01% delle cellule tumorali che lasciano il tumore primario sia in grado alla fine di colonizzare un

altro tessuto. Quando ci riescono, però, iniziano i problemi: la formazione delle metastasi è uno degli aspetti più complicati e preoccupanti della malattia tumorale, poiché è responsabile di circa il 90% della mortalità per cancro. È proprio su questo aspetto che si concentrano gli sforzi della ricerca oncologica: comprendere le basi molecolari e cellulari della formazione delle metastasi è fondamentale per riuscire a sviluppare strategie che impediscano o blocchino questo processo. Ma quando inizia il viaggio delle cellule tumorali e quante tappe prevede? Quali ostacoli incontrano le cellule sul proprio cammino? E quali sono i loro compagni di viaggio?

PRIMA TAPPA: L'INVASIONE LOCALE

Nel corso della formazione e dello sviluppo di un tumore le cellule neoplastiche continuano ad accumulare mutazioni che permettono loro di acquisire nuove caratteristiche, come la capacità di proliferare più velocemente delle altre o quella di continuare a crescere anche quando nell'ambiente in cui si trovano non ci sono i segnali giusti per farlo. Tra le varie mutazioni che si possono verificare, ce ne sono alcune che consentono a certe cellule di muoversi meglio: è questo ristretto gruppo di cellule tumorali a iniziare il viaggio. Se immaginiamo di trovarci in un tumore di un tessuto epiteliale come la pelle o l'epitelio che riveste internamente il nostro intestino, la prima barriera che le cellule tumorali devono superare è rappresentata dalla membrana basale, una struttura di sostegno sulla quale poggiano le cellule epiteliali stesse. Attraversandola, le cellule si spingono verso gli strati più interni del tessuto (lo stroma) fino a raggiungere i vasi sanguigni e quelli linfatici. Per compiere questo primo tragitto, le cellule tumorali hanno bisogno di crearsi dei varchi tra le strutture dello stroma. Ci riescono in vari modi, per esempio aumentando la produzione di metalloproteasi, proteine che degradano le strutture fibrose dello stroma, oppure perdendo sempre più le proprie caratteristiche epiteliali (in virtù di variazioni del proprio programma genetico) per conquistarne altre, tipiche di cellule – dette “mesenchimali” – che migrano di più e meglio.



Migrazione di alcune cellule epiteliali umane: durante la migrazione le cellule emettono prolungamenti che consentono loro di aderire al substrato su cui si stanno muovendo

SECONDA TAPPA: L'INGRESSO NEI VASI

L'ingresso nella rete vascolare è noto in inglese anche come *intravasation*. Per attraversare la parete dei vasi, le cellule tumorali distruggono temporaneamente le giunzioni che saldano tra di loro le cellule endoteliali, cellule che rivestono il vaso stesso sostenendolo e allo stesso tempo permettendo di regolare gli scambi tra il lume del vaso e l'ambiente circostante. Entrate nel torrente circolatorio, le cellule tumorali sono soggette a diversi tipi di stress, visto che si trovano in un microambiente completamente diverso da quello nel quale si sono generate. Sottoposte alla corrente del flusso ematico, che le schiaccia e le deforma, devono imparare a sopravvivere in sospensione e ad evitare gli attacchi del sistema immunitario. L'impatto del flusso circolatorio e l'azione delle cellule del sistema immunitario (soprattutto le cellule *natural killer*) contribuiscono a eliminare più del 99% delle cellule tumorali circolanti.

TERZA TAPPA: L'USCITA DAI VASI

Solo pochissime cellule tumorali riescono ad ancorarsi alla superficie interna dei vasi e ad attraversarne, per la seconda volta, la parete. Questo processo è noto anche come *extravasation*. Il fenomeno avviene generalmente a livello dei capillari, che avendo un calibro più piccolo degli altri vasi riescono in qualche modo a intrappolare le cellule in viaggio. In un secondo momento, proprio per il fatto di essersi fermate nel letto capillare, le cellule tumorali iniziano a interagire con quelle endoteliali dell'organo in cui sono arrivate. Questa interazione avviene tra alcune proteine presenti sulla superficie delle cellule tumorali (i ligandi) e specifici recettori sulle endoteliali. Si tratta di proteine normalmente coinvolte nei processi di adesione cellula-cellula o cellula-matrice extracellulare, come le integrine e le caderine oppure di molecole coinvolte nell'infiammazione, come le chemochine.

LA TEORIA DEL SEME E DEL SUOLO

Nel 1889 il chirurgo inglese Stephan Paget evidenziò per primo un legame tra tumore primario e metastasi. Paget analizzò i risultati delle autopsie di oltre settecento donne che avevano sviluppato un cancro al seno e notò che esse avevano tumori anche in altri organi. Non tutti, però, erano colpiti allo stesso modo: le metastasi, infatti, erano più frequenti nel fegato, nell'ovaio e in alcune ossa, mentre erano più rare nella milza. Questa scoperta gli consentì di formulare l'ipotesi nota con il nome di *seed and soil* valida ancora oggi: come i semi per germogliare hanno bisogno di un terreno adeguato, così le cellule tumorali riescono a generare metastasi solo in alcuni organi. Oggi sappiamo che è l'interazione tra le cellule tumorali e quelle endoteliali a determinare dove le metastasi si sviluppano e che le cellule tumorali aderiscono preferenzialmente alla rete capillare del proprio organo bersaglio.

È dunque questa specificità d'interazione tra ligandi e recettori a "indicare" alle cellule tumorali dove è possibile riattraversare la parete vascolare e terminare il viaggio.

Come avviene l'*extravasation*? La maggior parte delle cellule tumorali passa negli interstizi tra una cellula endoteliale e l'altra, distruggendo temporaneamente le giunzioni cellulari e sgusciando tra gli spazi stretti che si ricavano.

QUARTA TAPPA: LE MICRO-METASTASI

Raggiunto il nuovo tessuto, le cellule tumorali possono entrare in uno stato di latenza, la dormienza, che può durare anche anni, oppure proliferare, dando luogo a micro-metastasi locali. La maggior parte di esse, tuttavia, va incontro a morte cellulare per l'incapacità di adattarsi alle caratteristiche del nuovo microambiente.

FINE DEL VIAGGIO: LA FORMAZIONE DI METASTASI

La quinta e ultima fase del processo di disseminazione metastatica è la colonizzazione dell'organo bersaglio, che avviene quando alcune micro-metastasi cominciano a proliferare in maniera sostenuta e a formare masse tumorali di dimensioni macroscopiche.

IL RUOLO DEL MICROAMBIENTE

La migrazione tumorale è un fenomeno molto dinamico: le cellule tumorali sono influenzate continuamente dall'ambiente nel quale si trovano. Una delle grandi scoperte degli ultimi decenni è proprio l'aver compreso che il microambiente non è un ospite passivo nel quale si sviluppa il tumore. Il continuo scambio di segnali tra cellule tumorali e microambiente influenza reciprocamente l'uno e le altre e ha effetti su come si sviluppa il tumore. Per esempio, si è scoperto che le cellule tumorali riescono a "percepire" la rigidità della matrice extracellulare: più la matrice è rigida, per la presenza di fibre spesse e di molte connessioni tra loro, più le cellule ne sono attratte e si muovono nella sua direzione. Le cellule tumorali, mentre si muovono, mostrano una tendenza ad allinearsi lungo strutture prestabilite, come le fibre di collagene o i vasi sanguigni o addirittura le fibre muscolari. È come se le cellule tumorali si servissero di autostrade già pronte e già normalmente impiegate da altre cellule per i loro spostamenti all'interno dell'organismo. È il caso del melanoma, le cui cellule migrano collettivamente in modo molto veloce, formando lunghe file, e seguendo la via tracciata dalle fibre muscolari, per loro natura particolarmente strette e allungate. Quando invece si trovano in altri tessuti,

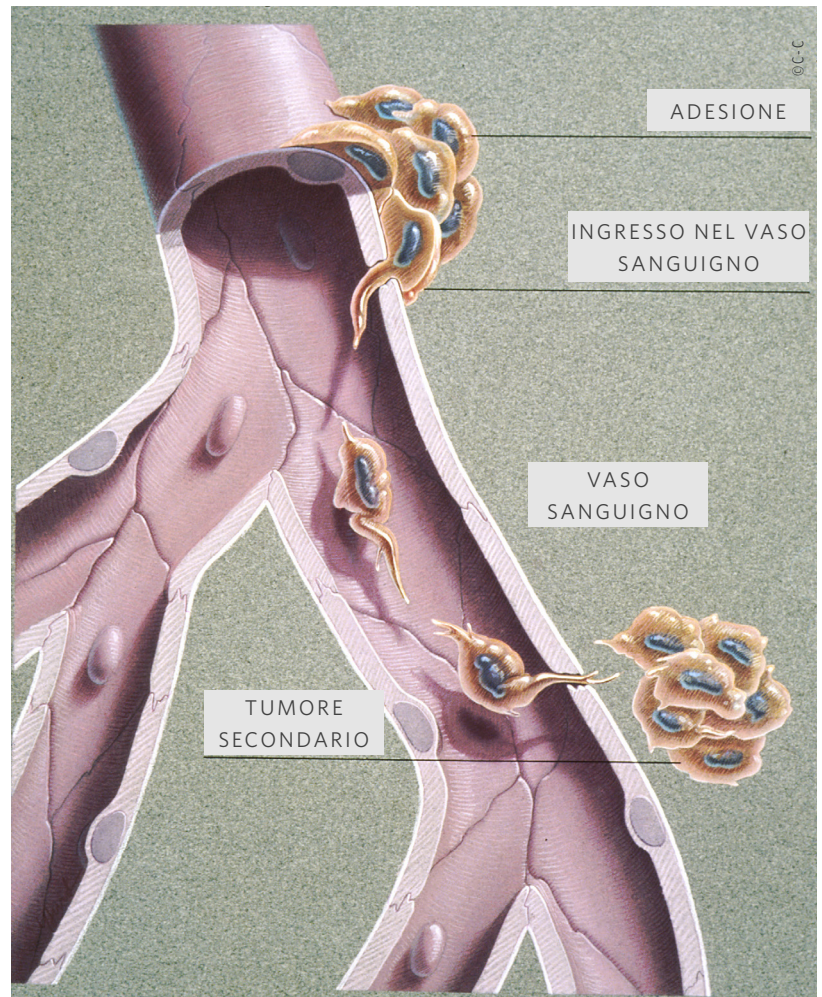
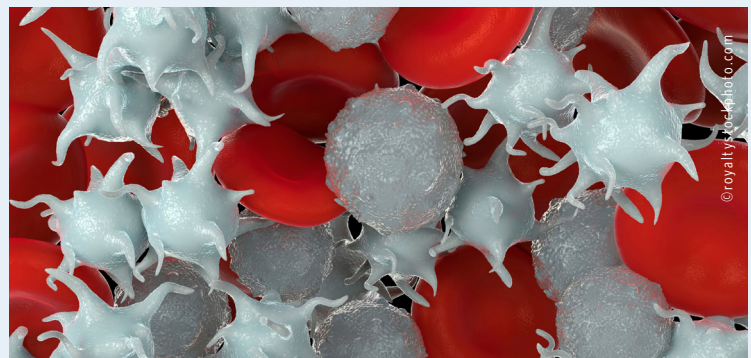


Illustrazione del meccanismo di *intravasation* e di *extravasation*

INSOLITI ALLEATI

Non appena entrano nel torrente circolatorio, le cellule tumorali sono circondate dalle piastrine, che le avvolgono formando degli aggregati. Questo provoca due effetti: protegge le cellule tumorali dall'azione del sistema immunitario e favorisce l'adesione delle cellule tumorali alla parete dei vasi. Da un lato, infatti, le piastrine secernono molecole che migliorano l'ancoraggio delle cellule tumorali alla parete dei vasi; dall'altro, richiamano globuli bianchi (in particolare i neutrofili), che tramite l'azione di molecole proinfiammatorie come le citochine, facilitano ulteriormente questa adesione. Le piastrine hanno un ruolo importante nell'uscita delle cellule tumorali dal torrente circolatorio, tanto che in alcuni modelli animali la riduzione dei loro livelli inibisce la formazione di metastasi.



Le piastrine facilitano la formazione di metastasi

come quelli ricchi di cellule adipose, si muovono in gruppi più ampi e disorganizzati, con diversi fronti, per cui ne deriva un movimento più sparso, lento e meno efficace.

DOVE STA ANDANDO LA RICERCA?

Se da una parte la ricerca si concentra sulle interazioni tra cellule tumorali e microambiente, dall'altra si sta focalizzando anche sull'implementazione delle tecnologie che consentono di seguire e studiare il processo di disseminazione metastatica in tempo reale nei modelli sperimentali (per esempio topi). Non solo, altri sforzi sono tesi verso l'identificazione di nuovi marcatori molecolari che possano predire lo sviluppo delle metastasi in un particolare organo e sui meccanismi molecolari che regolano il fenomeno dell'*extravasation* per cercare di ridurre la capacità delle cellule tumorali di uscire dalla rete vascolare e di colonizzare gli organi bersaglio. ●



© IFOM 2017

Un laboratorio IFOM



Ricercatori
dell'Istituto Firc
di Oncologia
Molecolare

ALLA RICERCA DI MARCATORI MOLECOLARI

Un intricato puzzle: così può essere definito il processo di formazione delle metastasi, e di recente il team di scienziati diretto da Giorgio Scita presso l'IFOM di Milano ha aggiunto una nuova tessera al puzzle. Studiando centinaia di campioni di pazienti affetti da tumore al seno, gli scienziati hanno scoperto un legame tra i livelli di espressione di RAB2A, una proteina coinvolta nel traffico cellulare, e la probabilità di sviluppare metastasi. Più i livelli di RAB2A nel tumore primario sono alti, maggiore è la probabilità di sviluppare metastasi. Questo dipende dalla capacità di RAB2A di dirigere verso la membrana proteine e fattori capaci di modificare l'assetto della matrice extracellulare, come la metalloproteasi MT1-MMP. Una scoperta che mostra come fenomeni apparentemente distanti tra loro siano correlati e che apre la strada allo studio di RAB2A come marcatore predittivo dello sviluppo di metastasi.

PER APPROFONDIRE

- Clark A.G. e Vignjevic D.M., *Modes of cancer cell invasion and the role of the microenvironment*, in Curr Opin Cell Biol, 2015, vol. 36, pp. 13-22.
link.pearson.it/89D7B889
- Dell H., *Seed and soil hypothesis. Observations from a ploughman*, in Nature Milestones Cancer, 2006.
link.pearson.it/FED0881F
- *Metastasi, le domande più frequenti*, materiale di approfondimento di AIRC.
link.pearson.it/3245F6DB
- *Promuovere la migrazione e l'invasione dei tessuti*, minipillola video di YouScientist, IFOM.
link.pearson.it/D5FDD8DC
- Corallino S. e Murelli V., *Io e la biologia*, webinar progetto Eureka di Pearson,
link.pearson.it/4542C64D

Assunta Croce

dirige il programma Scienza&Società di IFOM (Istituto Firc di Oncologia Molecolare) e si occupa di divulgazione scientifica. Ha un dottorato in biologia cellulare e molecolare e un master in giornalismo e comunicazione della scienza.



Scheda Didattica / Il viaggio delle cellule tumorali

di **Monica Menesini**

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Completa il testo – una sintesi dell'articolo che hai appena letto – scegliendo i termini appropriati tra quelli elencati:

intravasation - extravasation - recettori - vasi sanguigni - endoteliali - stroma - microambiente - membrane - recettori

Per poter migrare e dare metastasi, le cellule tumorali devono presentare una capacità di muoversi maggiore delle cellule normali. Per giungere ai _____, le cellule tumorali hanno bisogno di aprirsi dei varchi nelle strutture dello _____. Le cellule entrano nel sangue attraverso un processo detto _____ che consiste nella distruzione temporanea delle _____ che saldano le cellule endoteliali.

Le poche cellule che sopravvivono al particolare _____ che trovano nel sangue possono uscire dai vasi per il fenomeno detto _____, che richiede l'adesione delle cellule tumorali con quelle _____ attraverso il legame tra proteine presenti sulle _____ delle cellule tumorali e specifici _____ localizzati sulle cellule endoteliali.

2. Le metalloproteasi sono:

- ☐ A) proteine di sostegno presenti nello stroma.
- ☐ B) proteine prodotte esclusivamente dalle cellule tumorali.
- ☐ C) proteine che regolano il traffico intracellulare.
- ☐ D) enzimi proteolitici che usano ioni metallici come cofattori.

3. Le metalloproteasi sono inibite *in vitro* da sostanze come il gallato di epigallocatechina, la curcumina e il resveratrolo, che sono dunque considerate sostanze con proprietà antitumorali. Sulla base delle informazioni contenute nell'articolo, spiega il meccanismo attraverso il quale tali sostanze possono contrastare, almeno *in vitro*, lo sviluppo tumorale.

4. Gli epiteli di rivestimento delimitano la superficie corporea e le cavità dell'organismo in comunicazione con l'ambiente esterno. Sono classificati in base al numero di strati cellulari che li compongono (epiteli semplici o monostratificati ed epiteli composti o pluristratificati) e alla forma delle cellule: epiteli pavimentosi (cellule appiattite), cubici o isoprismatici (cellule di forma cuboidale), cilindrici o prismatici (cellule cilindriche o a forma di prisma). Completa la tabella seguente specificando quali sono, secondo te, funzione e tipologia degli epiteli dei vari distretti corporei elencati.

DISTRETTO CORPOREO	FUNZIONE DELL'EPITELIO	TIPO DI EPITELIO (SEMPLICE O COMPOSTO)
Pelle		
Mucosa buccale		
Alveoli polmonari		
Endotelio capillare		
Capsula di Bowman		
Intestino		

»

5. Nel testo si dice che l'*extravasation* avviene soprattutto a livello dei capillari. Facendo riferimento alla differente anatomia e alla velocità del flusso nei tre tipi di vasi sanguigni, sapresti spiegare perché?

6. Le caderine, coinvolte nell'adesione cellulare, sono state elette molecole del mese nel marzo 2008 da Protein Data Bank. Leggi l'approfondimento sulle caderine nel sito PDB (link.pearson.it/6E6F958E) e rispondi alle domande seguenti:

- a. Quali sono gli ioni metallici che conferiscono alle caderine la loro rigidità?
- b. Dove sono localizzate le due estremità delle caderine rispetto alla membrana cellulare?
- c. Qual è l'importanza delle caderine nello sviluppo embrionale?
- d. Quale aminoacido è importante per legare le catene di caderina l'una all'altra?

7. Le piastrine ricoprono un ruolo importante nel consentire alle cellule tumorali di produrre metastasi. Per poter metastatizzare le cellule tumorali devono andare incontro alla transizione epiteliale-mesenchimale (EMT). In questo processo, le cellule perdono la capacità di aderire l'una all'altra e cominciano a migrare rispetto al tessuto di origine. Uno studio del 2011 ha messo in luce che le cellule tumorali coltivate *in vitro* possono andare incontro a questa transizione se crescono in presenza di piastrine. Lo studio ha rivelato che le piastrine rilasciano un fattore chiamato TGFβ, che attiva i geni che favoriscono la transizione EMT.

- a. Secondo quanto illustrato nel testo, quali sono gli altri effetti che le piastrine hanno nel promuovere l'attività metastatica?
- b. Una possibile terapia antimetastatica potrebbe mirare alla riduzione delle piastrine circolanti; tuttavia questa ipotesi è da scartare visto che le piastrine svolgono un ruolo importante per l'organismo. Illustra struttura e funzione delle piastrine.
- c. Una possibile strategia farmacologica potrebbe mirare a produrre una molecola che interagisce con il fattore TGFβ impedendogli di esplicare la sua azione. Potrebbe trattarsi di un anticorpo monoclonale? Cosa sono e come vengono ottenuti questi particolari anticorpi?

8. Quale delle frasi seguenti riassume meglio la teoria *seed and soil*?

- (A) Ogni tipo cellulare sviluppa preferenzialmente metastasi nei tessuti con la stessa origine embrionale.
- (B) Ogni tipo cellulare sviluppa preferenzialmente metastasi nei tessuti con un microambiente simile a quello del tessuto di origine.
- (C) Lo sviluppo di metastasi in un certo tessuto dipende essenzialmente dal punto in cui le cellule tumorali effettueranno l'*extravasation*.
- (D) L'organo bersaglio delle metastasi è determinato dal tipo di movimento delle cellule tumorali e dalla sua velocità.

9. L'articolo fa riferimento alla migrazione del melanoma "le cui cellule migrano collettivamente in modo molto veloce, formando lunghe file, e seguendo la via tracciata dalle fibre muscolari, per loro natura particolarmente strette e allungate". Descrivi la struttura del muscolo mettendo in relazione la forma delle fibre con il meccanismo di funzionamento.

10. L'articolo menziona le cellule natural killer, un particolare tipo di cellule del sistema immunitario. Quali altre cellule, tra le seguenti, fanno parte del sistema immunitario?

- (A) Eritrociti.
- (B) Macrofagi.
- (C) Linfociti B.
- (D) Antigeni.
- (E) Megacariociti.
- (F) Cellule dendritiche.
- (G) Granulociti.

11. Le cellule natural killer sono particolarmente importanti nel riconoscimento e distruzione di cellule tumorali e infette da virus. Quali caratteristiche di queste cellule le rendono "riconoscibili" rispetto alle cellule sane dell'organismo?

Scheda Didattica / Il viaggio delle cellule tumorali

di **Monica Menesini**

RISPOSTE

1. vasi sanguigni – stroma – intravasation – giunzioni – microambiente – extravasation – endoteliali – membrane – recettori.

2. **D**

3. Inibendo le metalloproteasi, queste sostanze non permettono alle cellule tumorali di penetrare nello stroma e di giungere ai vasi sanguigni.

4.

DISTRETTO CORPOREO	FUNZIONE DELL'EPITELIO	TIPO DI EPITELIO (SEMPLICE O COMPOSTO)
Pelle	Protezione	Composto
Mucosa buccale	Protezione	Composto
Alveoli polmonari	Scambio gassoso	Semplice
Endotelio capillare	Passaggio di sostanze	Semplice
Capsula di Bowman	Riassorbimento di acqua e sostanze	Semplice
Intestino	Assorbimento di nutrienti	Semplice

5. Nei capillari il sangue circola più lentamente per permettere lo scambio di sostanze con i tessuti; inoltre, per lo stesso motivo, la parete è molto sottile, formata da un solo strato di cellule.

6. **a.** Ioni calcio.

b. Una all'esterno, l'altra all'interno legata al citoscheletro.

c. Caderine specifiche consentono alle cellule appena formate di trovare il tessuto al quale appartengono e di fissarsi al posto giusto.

d. Tirosina.

7. **a.** Proteggono le cellule tumorali dall'azione del sistema immunitario e favoriscono l'adesione delle cellule tumorali alla parete dei vasi sanguigni.

b. Le piastrine sono piccoli corpuscoli privi di nucleo del sangue circolante. Hanno il compito di coagulare il sangue insieme alle proteine fibrina e trombina.

c. Sì. Gli anticorpi monoclonali sono anticorpi tutti identici prodotti da un ibridoma, ottenuto dalla fusione di un linfocita specifico con una cellula tumorale. Essi possono riconoscere una specifica molecola e, legandosi ad essa, disattivarla.

8. **C**



10. (B) (C) (F) (G)

11. Le cellule tumorali e quelle infette da virus espongono sulla membrana particolari proteine che non sono presenti sulle cellule sane.

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.ted.com/talks/leonora_pearson/91EC9FBF) e [link.pearson.it/8E5CE05](https://www.ted.com/talks/leonora_pearson/8E5CE05)). È autrice di *Biology CLIL 3D* (Pearson Italia 2017).



La Terra vista dallo spazio

di **Andrea Ferrero**

I satelliti hanno rivoluzionato il modo in cui guardiamo il nostro pianeta, permettendoci di fare nuove scoperte in molti ambiti, dalla geologia all'agricoltura, dalla medicina all'ecologia.



La Stazione Spaziale Internazionale: il più grande satellite in orbita

Che cos'hanno in comune un biologo che studia la deforestazione, un medico delle Nazioni Unite che combatte la diffusione delle epidemie, un climatologo che analizza il riscaldamento globale, un oceanografo che indaga l'acidificazione dei mari, un architetto che si occupa di pianificazione urbana e un fisico dell'atmosfera che misura le variazioni dello strato di ozono? Tutti, nelle loro ricerche, usano anche

i dati provenienti dai satelliti artificiali. Negli ultimi sessant'anni, a partire cioè dal 1957, quando l'Unione Sovietica lanciò lo Sputnik 1 (link.pearson.it/4B994E7F) i satelliti artificiali hanno rivoluzionato lo studio del nostro pianeta, al punto che oggi sarebbe impensabile farne a meno. Ma come funzionano esattamente, che tipo di dati forniscono, dove si trovano, quanti ce ne sono e di quanti tipi diversi?

VELOCITÀ DIFFERENTI PER ORBITE DIFFERENTI

La maggior parte dei satelliti artificiali si trova in quella che viene chiamata “orbita bassa” (in inglese *Low Earth Orbit* o LEO), a poche centinaia di chilometri dalla superficie della Terra. Immaginate che la Terra sia un’arancia: se questi satelliti si trovassero appoggiati all’esterno, la superficie terrestre sarebbe appena sotto la buccia. L’esempio più celebre di orbita bassa è quello della Stazione Spaziale Internazionale, che si trova a circa 400 chilometri di quota. Una quota così bassa obbliga questi satelliti a muoversi molto velocemente – 25-30 000 chilometri l’ora – perché altrimenti la forza centrifuga non riuscirebbe a bilanciare la gravità e i satelliti finirebbero per precipitare sulla Terra. A mano a mano che la quota diventa più elevata la gravità si fa sentire di meno e quindi la velocità angolare può diminuire, fino ad arrivare ai satelliti che, a 36 000 chilometri di quota, ruotano intorno alla Terra in corrispondenza dell’equatore esattamente alla stessa velocità alla quale il pianeta gira su se stesso e quindi, dalla prospettiva del moto relativo alla Terra, rimangono “fermi” nello stesso punto. Per questo motivo vengono chiamati geostazionari, cioè “fermi rispetto alla Terra”. Ma quanti tipi diversi di satelliti ci sono?

TELECOMUNICAZIONI

I più comuni sono senza dubbio quelli per telecomunicazioni, che trasmettono ormai qualsiasi tipo di dati: i segnali radiotelevisivi, ma anche le telefonate e Internet.

I satelliti per telecomunicazioni ricevono onde radio da una stazione terrestre, li amplificano, se necessario li elaborano e li rimandano ad altre stazioni terrestri (le classiche parabole che si usano per ricevere i canali della televisione satellitare).

NAVIGAZIONE TERRESTRE

Sicuramente conoscete la sigla GPS (Global Position System, link.pearson.it/A5972F53): è quella dei sistemi di navigazione terrestre come Google Maps e molti altri. I satelliti per navigazione usano il vecchio trucco della triangolazione, fin dai tempi antichi ben noto ai navigatori per determinare la loro posizione: se non so dove sono io, ma vedo due punti distanti, so dove si trovano sulla mappa e conosco la mia distanza da loro, posso determinare la mia posizione. Il sistema GPS è americano, ma sta diventando operativo anche il sistema europeo Galileo.



Esempio di antenna parabolica

OSSERVAZIONE TERRESTRE

Il campo che permette il maggior numero di applicazioni diverse della tecnologia satellitare è tuttavia quello dell’osservazione terrestre. Questi satelliti hanno antenne che permettono di osservare la Terra non solo nel campo della luce visibile, ma anche in altre frequenze come quelle delle onde radio e delle microonde (perciò, a differenza di normali macchine fotografiche, possono operare anche di notte o con cielo nuvoloso), oltre a diversi sensori che permettono di ricostruire la composizione dell’atmosfera e le sue variazioni.

SATELLITI PER LE PREVISIONI DEL TEMPO

Un tipo particolare di satelliti per osservazione terrestre è costituito dai satelliti meteorologici, che studiano le condizioni atmosferiche, permettendo di realizzare le previsioni del tempo.

Immagine satellitare
da un satellite in
orbita geostazionaria



Possono fare due tipi di orbite: equatoriale geostazionaria e polare.

I satelliti geostazionari hanno il vantaggio di essere così lontani dalla Terra da poter osservare quasi metà della sua superficie nello stesso momento. Naturalmente, proprio perché sono lontani, la risoluzione dell'immagine non è molto buona, ma è sufficiente per osservare la circolazione delle nuvole sui continenti: la maggior parte delle immagini che vediamo nelle previsioni del tempo proviene da loro. I satelliti in orbita polare (cioè perpendicolare, o quasi, al piano dell'equatore) si trovano invece in orbita bassa (850 km) e hanno il vantaggio che, mentre orbitano intorno al pianeta, la Terra ruota su se stessa permettendo loro di osservarne un po' alla volta tutta la superficie: nell'arco di 24 ore riescono dunque a trovarsi due volte al di sopra di qualsiasi punto del pianeta. Questo vuol dire che bastano due satelliti dello stesso tipo per osservare un punto qualunque della Terra ogni 6 ore e raccogliere rapidamente dati sulle emergenze come gli uragani.

DATI SEMPRE PIÙ PRECISI PER UN'INFINITÀ DI APPLICAZIONI

Le scoperte ottenute dai satelliti per osservazione terrestre hanno rivoluzionato le scienze della Terra, come evidenziato da un rapporto del National Research Council (*Earth Observation from Space*, link.pearson.it/52827F3E). Al momento del lancio dello Sputnik 1, cinquant'anni fa, la geolocalizzazione della superficie terrestre avveniva con errori di centinaia di metri nelle aree più remote. Oggi le coordinate tridimensionali della superficie possono essere determinate con precisioni inferiori al centimetro. Le mappe globali dell'atmosfera ottenute dai satelliti hanno dimostrato che l'inquinamento atmosferico si muove tra i continenti e hanno permesso di vederlo come un fenomeno globale e non locale. I radiometri che misurano il bilancio dell'energia entrante e uscente dalla Terra hanno consentito di migliorare la nostra comprensione del clima e di osservare le variazioni di bilancio energetico dovute a singoli eventi come le eruzioni vulcaniche.

E ancora: i satelliti per l'osservazione degli oceani hanno approfondito le nostre conoscenze della circolazione oceanica, hanno rivelato il ruolo degli oceani nella variabilità climatica e hanno fornito ulteriori prove del riscaldamento globale, permettendo di quantificare e prevedere il suo impatto sull'aumento del livello del mare. Le previsioni del tempo sono enormemente più precise e si stima che permettano al settore energetico di pianificare con maggiore precisione la domanda di energia per riscaldamento e condizionamento, risparmiando così centinaia di milioni di euro, oltre che salvare vite umane: tutti i cicloni tropicali, per esempio, vengono osservati tempestivamente ed è possibile avvisare in anticipo le zone costiere che ne saranno affette. Inoltre i satelliti permettono di prevedere la produttività dei terreni agricoli e di ottimizzare l'irrigazione in funzione del clima e quindi di prevedere e mitigare le carestie. Anche la tettonica a placche, la sismologia e la vulcanologia hanno ricavato grande beneficio dai dati provenienti dai satelliti perché i dati raccolti in orbita offrono informazioni sulla velocità delle placche, sul rischio sismico e sulle deformazioni della superficie terrestre causate dai vulcani.

OZONO: DALL'OSSERVAZIONE ALL'AZIONE

La continua osservazione satellitare dell'ozono nella stratosfera e della sua riduzione già negli anni Ottanta fu determinante per l'approvazione del Protocollo di Montréal che limita l'emissione dei gas che distruggono l'ozono (come i clorofluorocarburi usati, soprattutto in passato, per gli impianti di aria condizionata). Le osservazioni più recenti hanno dimostrato che, grazie alla firma del trattato, i danni allo strato di ozono hanno cominciato a ridursi e gli scienziati si aspettano che si possano azzerare nel corso di questo secolo.

DALL'ECOLOGIA ALLA SALUTE

Altri esempi di progetti attualmente in corso grazie ai satelliti ne illustrano l'importanza nei campi più disparati.

Il satellite NigeriaSat-2 permette alla Nigeria di creare una mappa completa dell'intera nazione ogni sei mesi e in questo modo di programmare lo sviluppo urbano, la costruzione di strade e anche l'uso del fertilizzante nelle aree agricole. Il progetto DeforestACTION usa immagini raccolte via satellite e confrontate di settimana in settimana per individuare il disboscamento illegale in nazioni come il Brasile con foreste molto vaste e difficili da sorvegliare in ogni loro punto. L'uso di dati satellitari aiuta anche nella previsione dell'andamento di epidemie.

In Africa occidentale, per esempio, la diffusione della meningite è un grave problema denunciato come un'emergenza dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. Gli scienziati hanno scoperto che ogni anno le tempeste di sabbia stagionali che attraversano il Sahel sono seguite da ondate di meningite, ma le cause di questa correlazione non sono ancora chiare. Associare i dati relativi alla diffusione della malattia con quelli sulle tempeste di sabbia permette però di migliorare le previsioni delle prossime epidemie e quindi di essere più efficaci nel contrastarle.

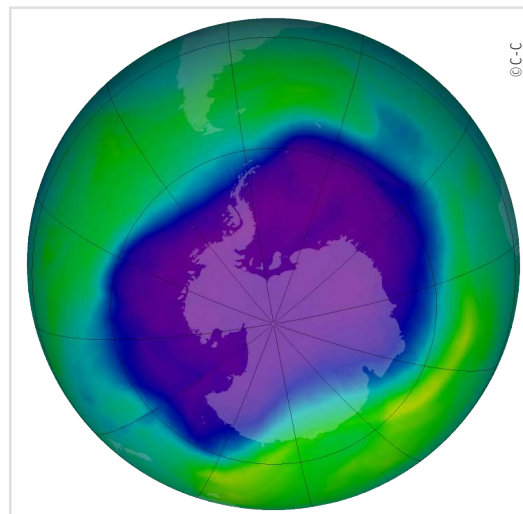
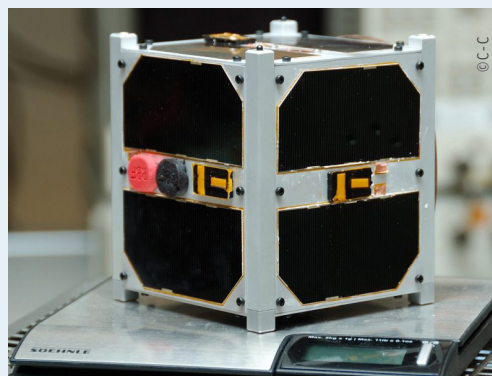


Immagine del più grande buco nell'ozono sopra l'Antartico mai registrato (settembre 2006)

QUANTO SONO GRANDI I SATELLITI?

Il satellite più grande è la Stazione Spaziale Internazionale (link.pearson.it/25854FA8), che è lunga 100 metri per 70 di larghezza (come un campo da calcio) e pesa quattrocento tonnellate (come tre o quattro grandi navi da crociera messe insieme). I più piccoli sono i nanosatelliti, sotto i dieci chilogrammi di peso. I nanosatelliti più noti sono quelli della famiglia CubeSat (link.pearson.it/BC8C1E12): dei cubi di dieci centimetri di lato (grandi più o meno come una confezione di latte). Si possono realizzare grazie alla miniaturizzazione spinta dell'elettronica, sono progettati il più delle volte dalle università che li usano per scopi scientifici o didattici, e vengono lanciati a gruppi di 50 contemporaneamente con lo stesso razzo per ridurre i costi.



Esempio di satellite miniaturizzato



L'immagine satellitare del ciclone Katrina, visto dalla Stazione Spaziale Internazionale

UN PIANETA COMPLESSO

La visione globale del pianeta ottenuta dai satelliti ha permesso di capire che le terre emerse, gli oceani e l'atmosfera sono collegati tra loro e ha cambiato il modo in cui studiamo la Terra, che ora viene vista come un sistema integrato che deve essere analizzato da gruppi interdisciplinari. Per il futuro rimangono molte questioni aperte: migliorare le previsioni del tempo a dieci giorni, fare previsioni più accurate degli uragani, aumentare la comprensione dei terremoti e delle eruzioni vulcaniche per riuscire a scoprire gli eventi precursori, mitigare le conseguenze del riscaldamento globale e proteggere le risorse naturali e la biodiversità. I satelliti ci aiuteranno a comprendere sempre meglio il pianeta in cui viviamo, come sostiene la vita e come viene influenzato dalle attività umane. ●

QUANTI SATELLITI CI SONO IN ORBITA?

Dal 1957 a oggi sono stati lanciati migliaia di satelliti e molti sono ancora in orbita: secondo l'ultimo rapporto disponibile dell'Ufficio delle Nazioni Unite per gli Affari Spaziali Esterni (ebbene sì, esiste davvero: link.pearson.it/CB8B2E84), al 31 agosto 2016 erano in orbita 4256 satelliti artificiali. In realtà solo uno su tre funziona ancora: tutti gli altri sono "spazzatura spaziale" inerte e continuano a orbitare intorno alla Terra fino a quando gli urti con i micrometeoriti li rallentano a sufficienza da farli precipitare, con conseguente polverizzazione nell'atmosfera. Per questo, diverse aziende pensano di specializzarsi nel "ripulire lo spazio" con reti gigantesche e altri sistemi fantascientifici. A questo proposito, ricordiamo il primo "incidente spaziale", nel 2009: uno scontro tra un satellite commerciale della costellazione Iridium e il satellite russo per telecomunicazioni Cosmos 2251, ormai "defunto" da oltre dieci anni ma ancora in orbita.

DIETRO LE QUINTE: LA COSTRUZIONE

I satelliti scientifici sono commissionati dalle agenzie spaziali nazionali e internazionali: le più note sono la Nasa negli Stati Uniti, l'Esa in Europa, Roscosmos in Russia, Jaxa in Giappone e Cnsa in Cina. Non sono però le agenzie spaziali a costruire i satelliti, ma le aziende da loro incaricate: in Italia per esempio la joint-venture italo-francese Thales Alenia Space, l'OHB Italia (parte del gruppo Airbus) e altre aziende. Al progetto dei satelliti lavorano soprattutto ingegneri di ambiti differenti, ma anche fisici, informatici e altri specialisti. I reparti di costruzione dei satelliti sono molto diversi da quelli di altre industrie: bisogna evitare che i sensori siano contaminati da particelle che li danneggerebbero, perciò gli operatori devono indossare normalmente camice, cuffia e sovrascarpe come in sala operatoria, e scafandri veri e propri per i componenti più delicati.

Andrea Ferrero

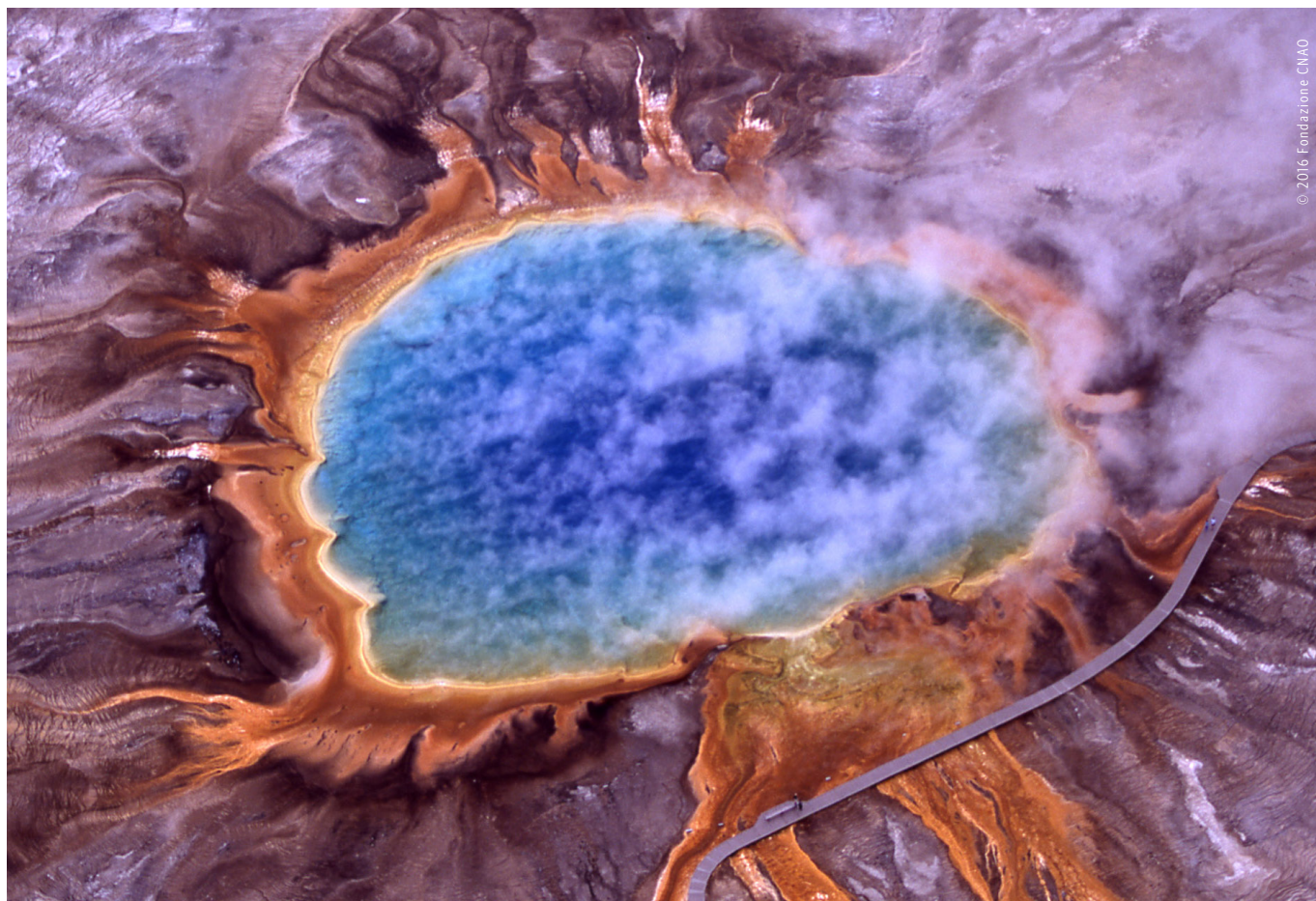
è ingegnere meccanico e lavora alla Thales Alenia Space Italia di Torino, dove ha partecipato al progetto e alla costruzione di moduli della Stazione Spaziale Internazionale, satelliti scientifici e per osservazione terrestre.



Una vita al limite

di **Donato Ramani**

Vivere in condizioni che ci sembrano impossibili: lo fanno moltissimi organismi estremofili, per i quali quelle condizioni sono invece la normalità. Il “trucco”?
Una sorprendente varietà di adattamenti



Gli estremofili sono capaci di crescere e riprodursi in situazioni estreme, come quelle delle sorgenti calde e dei geysir, sfruttando le condizioni presenti

Negli abissi del mare, dove regnano freddo e tenebre, o in pozze roventi ribollenti di acido solforico. Sotto i ghiacci dell'Antartide come nei deserti infuocati. O perfino in acque salatissime, con una concentrazione di cloruro di sodio superiore al 30%. E, ancora, in ambienti senza ossigeno, senza luce, o a pressioni spaventose, che nessuno di noi esiterebbe a definire inospitali, e che immagineremmo privi di qualunque forma di vita. Sbagliando.

Già, perché in questi territori vive in realtà una grande quantità di creature, soprattutto microrganismi, ma anche esseri più complessi, che crescono e si riproducono in situazioni da noi definite “estreme”, ma che per loro rappresentano la normalità. E che, al grido di “Strani sarete voi!”, costituiscono per gli scienziati un incredibile bacino di informazioni e di scoperte, non senza rilevanza anche per la nostra quotidianità.

UNA VITA ECCEZIONALE, O FORSE NO...

Partiamo dai microrganismi. «Quelli che vivono in queste condizioni particolari si chiamano estremofili, che significa amanti degli ambienti estremi» spiega Marco Moracci che è professore di biochimica all'Università Federico II di Napoli e gli estremofili li studia per professione.

«La loro scoperta, avvenuta negli anni Settanta del secolo scorso, ha rivoluzionato la nostra concezione dei parametri che consentono la vita: molto più ampi di quanto creduto fino a quel punto. Anzi, popolando luoghi considerati inospitali, ma in realtà diffusissimi sul pianeta, gli estremofili rendono il concetto di eccezionalità del tutto relativo. Vista la varietà e la quantità di queste creature, viene da pensare che l'eccezione siamo noi e il mondo che conosciamo.»

BATTERI E ARCHEA PER TUTTI I GUSTI

Per la maggior parte sono batteri o *Archaea*, organismi unicellulari privi di nucleo che rappresentano una linea evolutiva a se stante rispetto ai batteri e agli eucarioti. Tra gli uni e gli altri, ce n'è per tutti i gusti. Ecco gli organismi acidofili, che crescono a livelli di acidità altissima e gli alcalofili, che vivono a pH basico, per esempio nella soda caustica diluita. Per proseguire con i barofili, che hanno bisogno di pressioni superiori alle 500 atmosfere, gli psicrofili, che vivono sotto i 10 °C e gli alofili, che crescono a concentrazioni saline elevatissime (per esempio *Halobacterium* che si può trovare nel Mar Morto o nel Gran Lago Salato dello Utah). E, ancora, gli organismi termofili, che vivono a una temperatura ottimale tra 50 e 80 °C, e

gli ipertermofili che prosperano a temperature ancora più alte. Come l'*Archeon Strain 121*, che può uscire vivo e vegeto da un trattamento in autoclave – strumento che viene utilizzato per sterilizzare attrezzature da laboratorio o strumenti chirurgici – a 121 °C. Secondo uno studio pubblicato dalla rivista *Science*, a questa temperatura l'*Archeon* non solo sopravvive, ma si moltiplica tranquillamente. Preoccupati per una possibile infezione? Non dovete. Ai 37 °C del nostro corpo non è in grado di riprodursi e quindi non può essere infettivo.

ESTREMISMI NECESSARI

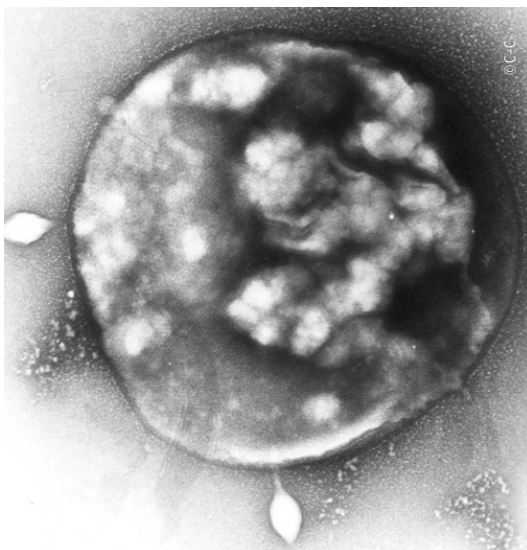
Anzi, il punto è proprio questo, sottolinea Moracci. «Non è che gli estremofili si limitino a tollerare condizioni estreme: ne hanno proprio assoluto bisogno per svolgere le loro normali funzioni e per proliferare. E talvolta, quelle che servono sono più condizioni estreme contemporaneamente. Succede con *Sulfolobus solfataricus*, un termoacidofilo che vive nelle solfatare a pH 2-3 a una temperatura di 75-80 °C. Per questo non sono noti estremofili patogeni per l'uomo.»

A CIASCUNO IL SUO SPECIALE ADATTAMENTO

La domanda, a questo punto, è come si faccia a vivere in situazioni così al limite.

La risposta è che ognuno ha trovato il modo di fare di necessità virtù. «La cosa interessante» nota Moracci «è che questi organismi non presentano componenti biologiche di base significativamente differenti da quelle che troviamo nelle nostre cellule. Ma ognuna ha escogitato un sistema per farle funzionare in un modo diverso ed efficientissimo a seconda delle condizioni presenti.» *Halobacterium*, per esempio, accumula al suo interno una grande quantità di ioni K⁺ per impedire che, per osmosi, l'acqua del citoplasma fuoriesca nell'ambiente ipersalino in cui vive, uccidendolo. Gli organismi che vivono nelle solfatare basano il loro metabolismo sullo zolfo anziché sull'ossigeno: in pratica, producono ATP (una molecola con funzione di riserva energetica che utilizziamo anche noi per far funzionare le attività cellulari) attraverso un processo chiamato riduzione degli ioni solfato, che comporta la trasformazione, in condizioni anaerobiche, di acido solforico in H₂S.

Gli organismi termofili o ipertermofili, invece, hanno spesso sequenze di DNA – molecola delicata che alle alte temperature si danneggia – con un'alta frequenza di coppie guanina-citosina, il cui legame è più forte e dunque più stabile di quello adenina-timina.



Sulfolobus solfataricus, infettato da virus, visto al microscopio

Gli organismi che vivono
nelle solfatare basano
il loro metabolismo
sullo zolfo anziché
sull'ossigeno



Non solo: sempre per salvaguardare il DNA possono mettere in campo specifiche proteine con funzione protettiva, a loro volta dotate di strutture e composizioni in amminoacidi che le rendono perfettamente funzionanti ad alte temperature e inefficienti a quelle più basse. In alcuni casi, inoltre, queste proteine sono ulteriormente preservate da sostanze speciali quali il trealosio e il mannosilglicerato che agiscono impedendone la denaturazione, ossia la perdita di struttura e, quindi, di funzione.

UNO SGUARDO ALL'INIZIO DELLA VITA SULLA TERRA

Ma al di là degli scopi di ricerca, perché è interessante studiare questi organismi? I motivi sono diversi. Prima di tutto, perché possono raccontarci qualcosa della storia della vita sulla Terra. Sebbene le teorie degli scienziati in proposito siano diverse e talora discordanti, non è azzardato pensare che nei cataclismi che hanno contraddistinto la storia iniziale del nostro pianeta, l'unico sopravvissuto possa essere stato proprio un estremofilo, da cui si sarebbero originati gli altri organismi. «Si tratta di una possibilità sulla quale i ricercatori si interrogano e discutono. Quel che si può dire, però, è che la vita in ambienti estremi è un tratto con radici antiche negli organismi estremofili moderni, che potrebbe aver giocato un ruolo importante nell'evoluzione» chiarisce Moracci.

ESTREMOFILI PER LA VITA QUOTIDIANA

Le soluzioni messe in campo da questi organismi per vivere in ambienti estremi, inoltre, possono

tornare utili per un gran numero di applicazioni in settori diversi. Ecco qualche esempio.

Sostanze come il trealosio sono oggi usate come eccipienti nei farmaci, perché preservano la degradazione chimica e fisica dei principi attivi. Le indagini del DNA di cui sentiamo spesso parlare nel campo della medicina legale, insieme a un'altra vasta serie di test diagnostici e scientifici, avvengono grazie a una particolare reazione chiamata PCR (reazione a catena della polimerasi) che consente la moltiplicazione *in vitro* di specifici frammenti di DNA ed è resa possibile dalla disponibilità di una speciale DNA polimerasi – l'enzima coinvolto appunto nella duplicazione del DNA – capace di resistere a temperature superiori ai 90 °C. E da dove viene questo enzima? Ovviamente da un batterio estremofilo, chiamato *Thermus aquaticus*. Persino il nostro bucato deve qualcosa agli estremofili, in particolare a quelli che ci forniscono idrolasi, enzimi che agiscono sulle macchie aumentando il potere detergente



Thermus aquaticus

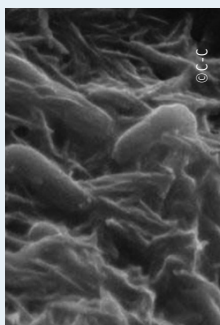
del sapone a basse temperature. E come dimenticare le patatine fritte? «Nella produzione delle patatine si genera una sostanza tossica, l'acrilamide» racconta Moracci. «Ebbene, un enzima tratto da estremofili è in grado di distruggere questo sottoprodotto indesiderato della frittura industriale.»

NON SOLO BATTERI

Come anticipato, esistono anche forme di vita estremofile decisamente più complesse di quelle fin qui descritte. Per esempio quelle che gli scienziati si sono trovati davanti qualche anno fa, dopo aver scavato per 740 metri sotto la superficie dell'Antartide, a centinaia di chilometri dalla luce del Sole e a una temperatura, è il caso di dirlo, polare. Invece del nulla atteso, hanno scoperto un intero ecosistema con pesci, gamberetti e altri invertebrati, sviluppatosi in una sorta di acquario separato dal resto del mondo.

Quando alla telecamera apparvero una dopo l'altra queste creature, la sorpresa degli studiosi fu enorme. Almeno pari a quella dei primi pesci avvistati, che, probabilmente attratti dalla luce come raccontò uno degli scienziati a Science, «apparivano curiosi e docili». E che dire di *Alvinella pompejana*, il “verme di Pompei”, che vive nei pressi delle sorgenti idrotermali del Pacifico? Lungo fino a 13 cm è capace di resistere a temperature fino a 80 °C. Come non citare, infine, la fauna variegata della Fossa delle Marianne, pronta a vivere senza luce, al freddo (da -1 a 4 °C) e con una pressione 1000 volte più alta di quella in superficie, fino a 11 000 metri sotto il pelo dell'acqua? La resistenza al freddo e all'incredibile pressione è un problema che riguarda la struttura stessa delle cellule che compongono questi animali. Basti pensare che, a quelle condizioni, le loro membrane cellulari

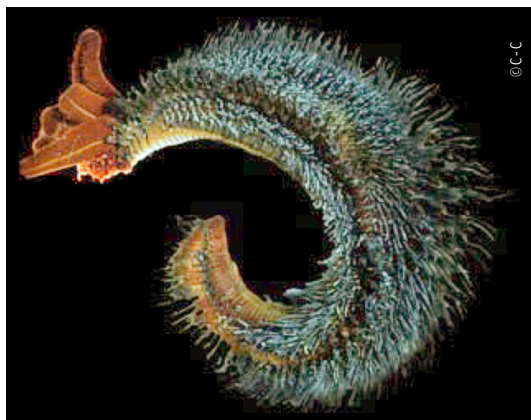
finirebbero per diventare solide, come il burro in congelatore. La soluzione adottata da queste creature sembra essere quella di includere nelle membrane molti grassi insaturi, in grado di renderle fluide anche a basse temperature. Le proteine, invece, sembrerebbero essere protette, almeno nei pesci, da molecole come il TMAO (trimetilammina-N-ossido), la cui concentrazione cellulare aumenta con l'aumentare della profondità, almeno fino a 8000 metri sotto il livello del mare. Oltre questo limite, l'accumulo del TMAO sembrerebbe invece avere un effetto controproducente, ed è probabilmente questa la ragione per la quale nella parte più profonda della Fossa, tra gli 8400 e gli 11 000 metri, non sono mai stati avvistati pesci, ma “soltanto” particolari crostacei chiamati anfipodi, foraminiferi e cetrioli di mare. Tutti pronti a mettere in pratica un vecchio adagio, che ovviamente nessuno di loro ha mai sentito: «La vita è questa. Niente è facile. Ma nulla è impossibile». ●



Shewanella

BATTERI ELETTRICI

La vita degli esseri viventi è un flusso di elettroni. Le nostre cellule, per esempio, distruggono gli zuccheri che mangiamo in un processo che trasporta gli elettroni degli zuccheri stessi all'ossigeno che respiriamo, e così produciamo ATP. C'è però chi ha risolto altrimenti, come i batteri “elettrici” *Shewanella* e *Geobacter*, che si nutrono direttamente di elettroni ricavati da rocce e metalli. Ricercatori dell'Università del Minnesota sono riusciti a farli crescere su semplici elettrodi metallici, dimostrando come questi organismi siano in grado di nutrirsi di pura elettricità, e nient'altro. Come se anziché mangiare un bel piatto di pasta, per nutrirci noi ficcassimo le dita nella presa elettrica. Questi batteri sono oggetto di attento studio anche per un possibile impiego come “pulitori” di aree contaminate con idrocarburi o materiale radioattivo.



Alvinella pompejana

Donato Ramani

è giornalista e project manager del Master in comunicazione della scienza Franco Pratico della SISSA di Trieste. Si occupa di formazione in comunicazione scientifica e scrive per diverse testate di scienza e non solo.



Scheda Didattica / Una vita al limite

di **Antonio Varaldo**

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Tutti i viventi sono formati da cellule, che si generano sempre da altre preesistenti. Completa il brano seguente sulla struttura generale delle cellule scegliendo i termini appropriati tra quelli elencati:

citoplasma – fosfolipidiche – generiche – inibire – polisaccaridiche – specifiche – simmetricamente – catalizzare

Tutte le cellule sono unità biologiche delimitate da membrane, la cui struttura è sempre un doppio strato di molecole _____ disposte parallelamente le une alle altre in uno strato e _____ rispetto allo strato adiacente. Ciò costituisce la barriera di separazione tra l'ambiente acquoso interno – il _____ – e l'ambiente acquoso esterno. Nel doppio strato fosfolipidico si trovano inoltre varie proteine, alcune delle quali sono posizionate in modo da attraversarlo completamente. Le proteine di membrana rivestono varie funzioni: creare _____ vie di ingresso e di uscita, costituire elemento di riconoscimento della cellula dall'esterno e _____ particolari reazioni chimiche.

2. Quali sono le principali differenze tra organismi procarioti ed eucarioti?

3. A livello evolutivo, qual è il collegamento tra cellule procarioti ed eucarioti?

4. Perché i virus non sono inclusi tra i viventi?

5. Come hai letto nell'articolo, le condizioni ambientali sono considerate estreme in relazione a numerosi parametri chimico-fisici. Aiutandoti con la consultazione dei tuoi libri di testo, per ciascuna delle frasi seguenti scegli il termine corretto tra i due proposti.

a. L'acqua marina ha una concentrazione salina media di 53 / 35 g/L.

b. La pressione atmosferica standard è 1013 hPa / mmHg e cala con l'altezza circa di un ordine di grandezza ogni 17 km.

c. Un valore di pH 3 / 8, rispetto a un altro di 4, indica una quantità doppia di idrogenioni H^+ in soluzione acquosa.

d. Negli oceani, scendendo nel cosiddetto termoclino fino a circa 100 / 1000 metri, la temperatura crolla a pochi gradi centigradi.

e. Sott'acqua la pressione cresce di circa 1,0 / 10 atmosfere ogni 100 metri di profondità.

6. L'ossigeno rappresenta la sostanza vitale per eccellenza; ripensando alle sue caratteristiche chimiche e al suo ruolo nei processi cellulari, rispondi con un breve brano alle seguenti domande.

a. Qual è il principale carattere atomico dell'ossigeno? E qual è il nesso tra ciò e la molecola gassosa?

b. Qual è il ruolo dell'ossigeno nel processo energetico mitocondriale?

c. Cosa significa il termine chimico "ossidazione"?

7. Nell'articolo si cita un tipo speciale di DNA polimerasi prelevata dall'estremofilo *Thermus aquaticus* (Taq polimerasi) e utilizzata per la reazione a catena della polimerasi. Fai una ricerca sul Web per capire cosa sia la PCR, e dopo aver ripensato anche a quale sia la funzione dell'enzima, spiega in sintesi il processo.

Scheda Didattica / Una vita al limite

di **Antonio Varaldo**

RISPOSTE

1. fosfolipidiche – simmetricamente – citoplasma – specifiche – catalizzare
2. I procarioti sono organismi unicellulari formati da cellule al cui interno non vi è alcuna compartimentazione né un nucleo; gli eucarioti – che possono essere uni o pluricellulari – sono invece formati da cellule con un nucleo, contenente il materiale genetico, e vari specifici organuli.
3. Si ritiene che le cellule eucarioti si siano originate da procarioti in un processo di endosimbiosi: in ambienti ricchi di vari tipi di procarioti specializzati, infatti, sarebbe risultato conveniente convivere all'interno di uno di questi, rendendosi reciprocamente utili.
4. A parte la ben differente struttura generale – i virus infatti possiedono un involucro proteico, il capsido, e non una membrana fosfolipidica – i virus non hanno abilità metaboliche endogene né autonomia riproduttiva e perciò necessitano di cellule ospiti per sopravvivere e proliferare.
5. **a.** 35 g/L; **b.** hPa; **c.** 3; **d.** 1000; **e.** 10.
6. **a.** L'ossigeno appartiene al gruppo VI avendo sei elettroni di valenza, quattro dei quali formano coppie e due sono invece singoli e vengono utilizzati per formare due legami covalenti; è per questo motivo che i singoli atomi non restano isolati ma si legano tra loro in molecole biatomiche attraverso un "doppio legame", cioè condividendo due coppie di elettroni.
- b.** L'ossigeno è il destinatario finale degli elettroni che provengono dalla distruzione delle molecole di glucosio, in particolare dalla catena di trasporto che si verifica a ridosso della membrana interna del mitocondrio nella tappa successiva al ciclo di Krebs.
- c.** Il termine ossidazione è in antagonismo con "riduzione": con quest'ultimo si intende l'acquisto di elettroni e, considerato che l'ossigeno è spesso l'atomo che effettua questa operazione diventando un anione bivalente, è convenzionalmente indicata la perdita di elettroni proprio con il termine "ossidazione".
7. La *Polimerase chain reaction* è una tecnica di laboratorio finalizzata a produrre in gran quantità copie di un frammento utile di DNA. Si attua con uno specifico macchinario (termociclatore) che realizza ripetuti innalzamenti e abbassamenti di temperatura in modo da determinare, rispettivamente, il distacco dei due filamenti di DNA complementari e la formazione su ciascuno del nuovo filamento; sono indispensabili brevi sequenze di innesco (*primer*) e grandi quantità di nucleotidi liberi dei quattro tipi (cioè con le 4 basi azotate), il cui attacco corretto è catalizzato dall'enzima Taq polimerasi che è resistente agli innalzamenti di temperatura.

Antonio Varaldo

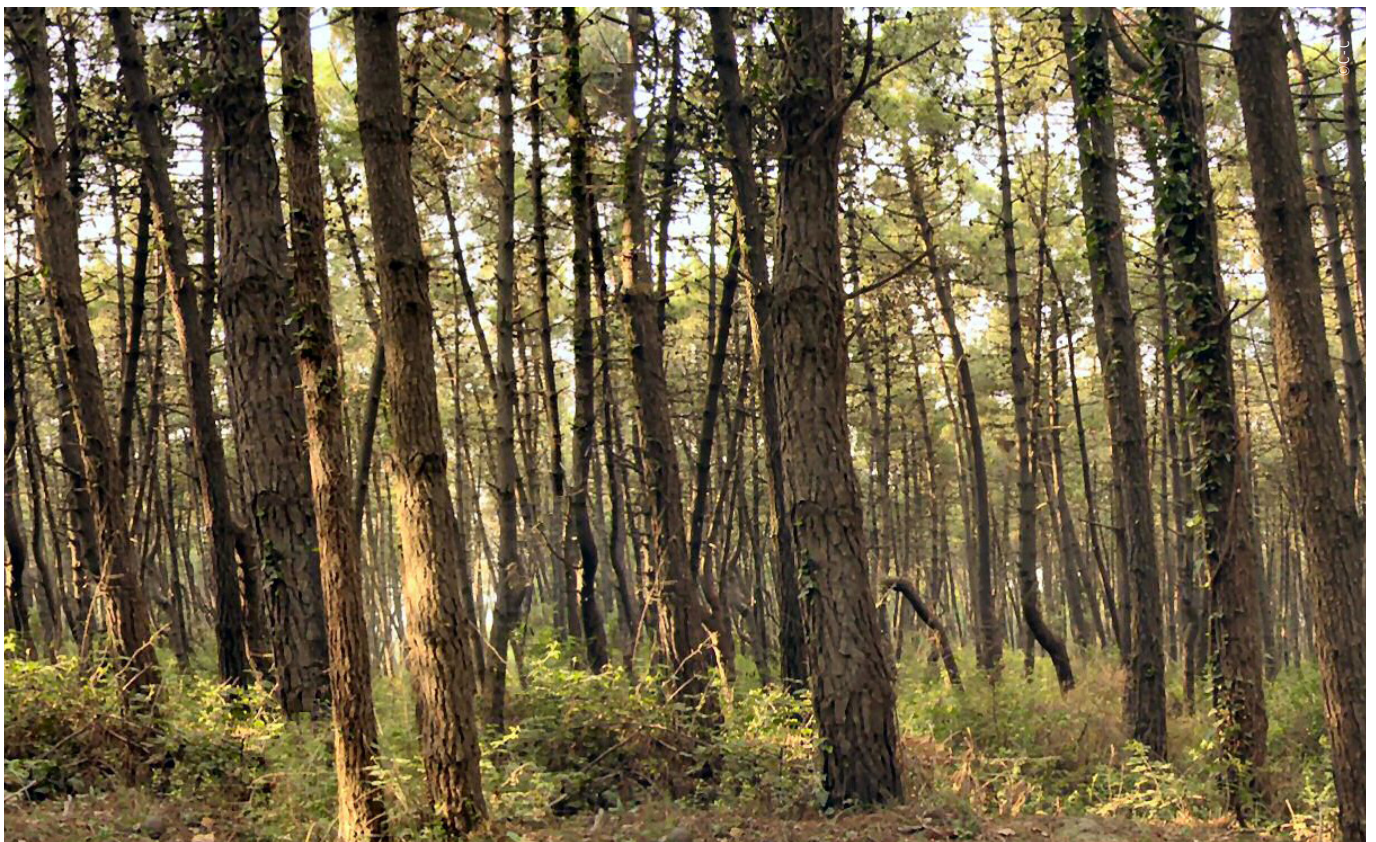
è naturalista e fotografo; insegnante liceale, come divulgatore ha collaborato a Tuttoscienze, alle enciclopedie UTET e Repubblica, e con l'agenzia ITCILO dell'ONU. È autore di *Scienze per la Terra* (Pearson Italia, 2017).



A spasso verso il bosco

di **Renato Bruni**

Una passeggiata dalla città verso la campagna offre varie occasioni per osservare qualche interazione speciale tra le piante e il loro ambiente: il primo passo per nuove scoperte in ambito biomimetico.



Pineta di pini marittimi

Marina Abramovic è un tipo strano, una performance artist. Non dipinge, ma crea esibizioni estreme e provocatorie, per molti insensate e per altri geniali, durante le quali obbliga gli spettatori a interagire con lei o con l'esibizione stessa. Per esempio, una volta si è messa nuda sulla soglia di una mostra, costringendo chi volesse accedere a entrare fisicamente in contatto con lei.

Che cosa c'entrano queste bizzarrie con la natura e la scienza? Poco, ma tempo fa ha fornito ai propri allievi una serie di spunti

e uno inizia così: «Iniziate a camminare in linea retta attraverso il paesaggio che vi circonda per quattro ore...». Apparentemente priva di senso, questa performance ne acquista solo se protagonista e ambiente interagiscono, scoprendo reciprocamente aspetti nuovi. Non posso chiedervi di stare nudi sulla porta della classe, ma posso proporvi di uscire e camminare per quattro ore mettendovi in relazione con il paesaggio e prestando attenzione a qualche particolare che spiega quanto siano sofisticate le interazioni tra piante e ambiente.

SULLA PORTA, LE SENTINELLE DELL'ARIA

Appena usciti potrebbe sembrarvi di non avere piante da osservare. Qualche performer vegetale però c'è sempre, magari poco vistoso e trascurato: ovunque i licheni punteggiano sassi e muri di giallo oca o di celeste polveroso. Per 140 anni abbiamo descritto i licheni come simbionti tra un fungo e un'alga (o un cianobatterio), salvo scoprire da poco che la relazione non è di coppia ma triangolare, a conferma di come riscrivere i libri di testo con nuove scoperte sia normale per la scienza.

Negli strati più esterni dei licheni è infatti presente un secondo fungo, meno abbondante, che concorre alla sopravvivenza del lichene stesso producendo sostanze chimiche di difesa.

Il fungo principale assicura invece ancoraggio al suolo, assorbe sali e offre asilo fisico all'alga, che nutre il trio svolgendo la fotosintesi.

I licheni passano inosservati non solo per l'aspetto modesto ma anche perché crescono meno di 1 millimetro l'anno, tanto da sembrare più inerti degli stessi muri che li ospitano. Inoltre resistono alla disidratazione, al gelo, alle radiazioni: se durante la passeggiata vi inerpicate su una montagna i licheni sarebbero gli ultimi organismi a sparire dalla vista. Sembrano indistruttibili, ma hanno un tallone d'Achille che li può rendere utili per monitorare la qualità dell'aria. Molti licheni sono sensibili allo smog e non riescono a crescere se nell'aria vi sono gas inquinanti, in particolare anidride solforosa e ossidi di azoto, immessi nell'aria da varie attività umane.

L'anello debole è l'alga, indifesa contro i gas che, reagendo con la clorofilla, bloccano la fotosintesi, ovvero la vita.

IN PERIFERIA, LE NANOTECNOLOGIE

Uscendo dalla città e cominciando a incontrare qualche albero, in un parco o in un viale, è facile imbattersi in un'edera che abbraccia solidamente un tronco. Staccarla è quasi impossibile: è così tenace da reggere una forza pari a 2 milioni di volte il proprio peso e da poco sappiamo come ci riesce, grazie a indagini condotte a braccetto da botanici, chimici e ingegneri.

Anche nella scienza infatti le performance migliori si ottengono quando tutti gli attori interagiscono. La capacità adesiva dell'edera è dovuta a nanoparticelle secrete dai peli radicali prodotti delle sue radici avventizie e si esplica in più fasi. Anzitutto c'è un primo contatto tra radice e supporto (in questo caso un albero, ma potrebbe essere anche un muro), cioè un'adesione fisica che permette l'appoggio, poi un'adesione chimica che salda il contatto, mediata appunto dalle nanoparticelle, e infine un accorciamento che trascina con sé il fusto. Tutto avviene con una precisa scala dimensionale: la radice è dell'ordine dei millimetri, il pelo radicale dei micrometri e le particelle adesive non sono altro che una versione vegetale delle nanotecnologie. Ogni rametto di edera sviluppa ciuffi di radici dotate di un fitto vello di peli radicali, protesi all'esterno come microscopici tentacoli e divisi in due tipologie: a spatola per le superfici lisce e a cavatappi per intrufolarsi meglio su quelle più irregolari.

È sufficiente il contatto con il supporto per stimolare il rilascio di un gran numero di sferette contenenti proteine legate a zuccheri chiamati arabinogalattani.



Non tutti i licheni sono ugualmente resistenti, molti non sopravvivono in presenza di smog

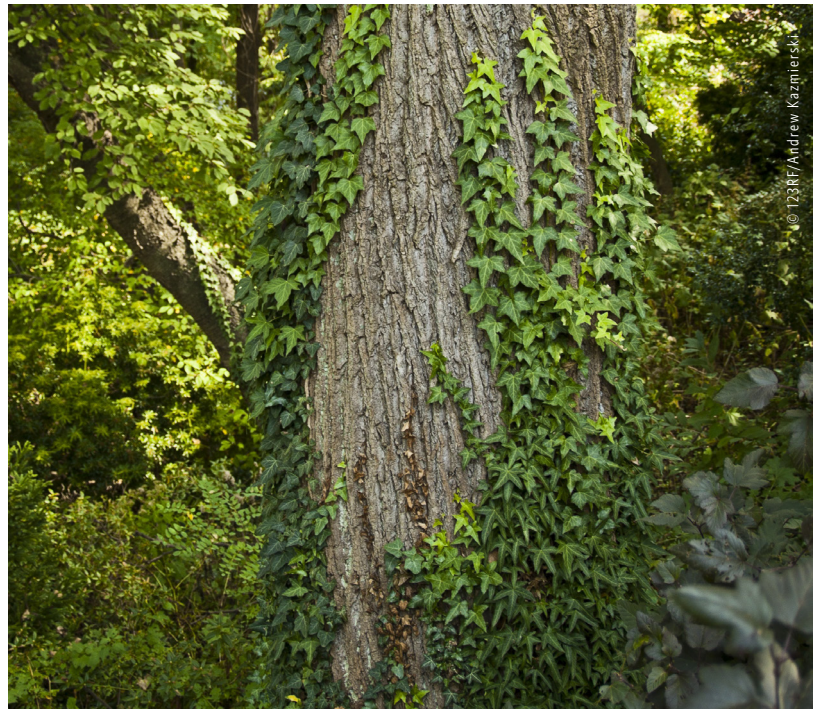
Grazie alle piccole dimensioni, le sferette attraggono fisicamente la superficie di contatto con forze deboli di tipo elettrostatico, labili singolarmente ma favorite dalla numerosità e dalla fluidità, che consente di penetrare negli interstizi senza creare sacche d'aria tra radice e sostegno, cosa impossibile per un adesivo classico. In pratica, sebbene i legami prodotti siano deboli, il loro enorme numero genera un effetto cooperativo analogo alle corde lillipuziane che intrappolano Gulliver. Nelle ore successive i peli così adesi si disidratano, si accorciano e avvicinano per trazione meccanica radice e ramo al supporto. In questa fase le goccioline si fondono tra loro e avviano l'adesione chimica definitiva, che avviene con un meccanismo simile: dapprima una serie di legami deboli tra ioni calcio e zuccheri avvicina le molecole e poi si formano legami covalenti più forti tra radice e superficie, generando un materiale che salda indissolubilmente l'edera al suo tronco.

HO SENTITO QUALCOSA!

Entro le quattro ore di passeggiata la città dovrebbe essere lontana e dovrete essere in campagna o in un bosco. Con case e inquinamento se ne sono andati anche i rumori – e sono comparsi più licheni – rivelando forse nuovi suoni. Le performance con cui le piante si relazionano all'ambiente possono infatti prevedere emissioni acustiche, rigorosamente sottovoce, perché qualunque suono nel bosco diventa una possibile guida per i nemici. Gli alberi ad alto fusto, per esempio, in condizioni climatiche particolari producono suoni ritmici per effetto della cavitazione che si genera durante il trasporto dell'acqua, un fenomeno fisico legato ai fluidi in pressione e movimento, due condizioni presenti nei vasi xilematici degli alberi, quelli che trasportano

BIOMIMETICA

La biomimetica è una strategia interdisciplinare di sviluppo di nuovi materiali, oggetti o processi a partire dall'osservazione di fenomeni naturali. Il sistema adesivo dell'edera, per esempio, ha ispirato nuovi collanti da usare in chirurgia, mentre le dinamiche con le quali api e termiti coordinano le loro attività sono state studiate e usate per gestire condizionatori e impianti elettrici riducendo gli sprechi. O ancora, osservando il funzionamento delle trappole nelle piante insettivore *Nepenthes* si sono ottenuti materiali super repellenti da usare in diversi ambiti. Nel 2013 si è stimato che il giro d'affari mondiale della biomimetica potrà superare 1000 miliardi di dollari entro il 2030, contribuendo a una riduzione dei danni e dei consumi ambientali (inquinamento, uso di risorse non rinnovabili) pari a 500 miliardi.



Edera che cresce saldamente adesa a un tronco

acqua e nutrienti dalle radici verso le foglie. Questi vasi sono rigidi e si comportano come cannuccie, rispetto alle quali la traspirazione della chioma opera come un aspiratore. La cavitazione si presenta quando la tensione di vapore al loro interno diventa abbastanza forte da far evaporare parte dei gas disciolti nell'acqua trasportata, formando bolle e producendo una caratteristica serie di schiocchi. Questo concertino va in scena soprattutto durante i periodi di siccità, quando la perdita d'acqua della chioma non è compensata dall'assorbimento radicale. La cavitazione, però, con le sue bolle blocca il transito dell'acqua e se la pianta non riesce a rimediare va incontro a un progressivo indebolimento. Molte cavitazioni producono molti schiocchi e molti schiocchi significano guai in vista: il suono della cavitazione è quasi inudibile dall'uomo ma è captato da alcuni insetti xilofagi sensibili agli ultrasuoni, per i quali è dolce musica poiché segnala una preda in difficoltà. Le performance acustiche non riguardano però solo il rischio di farsi aggredire, ma anche la possibilità di difendersi meglio, grazie a suoni percepiti dalle piante nel silenzio del bosco. Gli insetti che masticano una foglia emettono per esempio una vibrazione sonora caratteristica, che cavoli e senape riescono a captare usandola come segnale di allarme. Sia in piante masticate sia in piante non aggredite questo suono induce un aumento di alcune sostanze pungenti che le piante usano come deterrente (le stesse che rendono piccanti senape e wasabi).

SULLA VIA DEL RITORNO

Se siete nel bosco e sono passate quattro ore dalla partenza posso svelarvi in che cosa consiste la parte finale della performance suggerita dalla Abramovic: «Riposatevi e ritornate al punto di partenza seguendo lo stesso percorso».

Sta a voi scovare qualche altra manifestazione delle piante durante il tragitto inverso: se mi avete dato retta mancano almeno quattro ore di cammino per tornare davanti alla porta della scuola. ●



Esempio di lichene
fruticoso

I LICHENI COME INDICATORI AMBIENTALI

La diversa vitalità dei licheni in diverse condizioni ambientali permette di verificare la qualità dell'aria in modo capillare ed economico, quasi strada per strada. Dato che quelli resistenti agli inquinanti atmosferici sono pochi, la scarsa diversità è già un indicatore: se sono del tutto assenti o ne compaiono meno di 3 specie differenti significa che la qualità atmosferica è bassa, poiché di norma in condizioni di aria pulita se ne possono trovare oltre 10. I licheni si distinguono in 3 categorie in base all'aspetto: crostoso (a placca), fruticoso (ramificato) o foglioso (intermedio tra i due). Mentre i primi sono più resistenti e facili da osservare in città, gli altri richiedono climi più umidi e stentano se l'aria è inquinata. Per esempio, i licheni crostosi color ocra del genere *Xanthoria* prosperano anche in prossimità di impianti industriali, mentre la barba del frate, che ha aspetto ramificato, muore se l'aria non è cristallina.

PAROLE CHIAVE

Avventizia Struttura vegetale in posizione inusuale, per esempio le radici collocate a livello dei nodi di un fusto.

Cianobatteri Batteri in grado di compiere la fotosintesi grazie a pigmenti blu o rossi. Un tempo erano considerati alghe.

Legame covalente Legame chimico generalmente stabile in cui due atomi condividono coppie di elettroni. Richiede più energia per essere scisso rispetto a un legame ionico.

Nanoparticelle Materiali solidi o liquidi aventi un diametro inferiore a 100 nanometri (1 nm corrisponde a un milionesimo di metro).

Peli radicali Estroflessioni dell'epidermide vegetale presenti nella parte terminale delle radici, con funzione di assorbimento di acqua e sali.

Simbiosi Condizione di vita associata, più o meno intima e permanente, tra diverse specie animali o vegetali (o anche l'una animale e l'altra vegetale). Non comporta danni reciproci e può anzi comportare mutuo vantaggio.

Xilofagi Insetti, in genere parassiti delle piante arboree, che in uno o più stadi della loro vita si nutrono di legno. Possono infestare anche i mobili.

Renato Bruni

è professore associato in Biologia Farmaceutica all'Università di Parma. È cofondatore del gruppo di ricerca LS9-Bioactives & Health e autore del blog *Erba Volant* (link.pearson.it/2AD3CBF5), di un libro sulla biomimetica vegetale dallo stesso titolo (link.pearson.it/C56AE50C) e di un libro di prossima uscita sul rapporto tra scienza e giardini (*Le piante son brutte bestie*).



Il fascino della scienza nell'*Orlando furioso*

di **Francesca E. Magni**

Dal labirinto alla Luna, all'archibugio: l'*Orlando furioso* è ricco di rimandi, descrizioni e riflessioni a temi e ad approcci scientifici, tutti da esplorare in una lettura originale dell'opera.



La trama dell'*Orlando Furioso* è come un labirinto, un intreccio di possibili scelte

Se avete visitato la mostra al Palazzo dei Diamanti di Ferrara, dedicata ai 500 anni dalla prima edizione dell'*Orlando furioso*, vi ricorderete di aver visto nella prima sala il dipinto *Ritratto di gentiluomo* di Bartolomeo Veneto, che porta un labirinto ricamato sulla veste (link.pearson.it/4A5B2448).

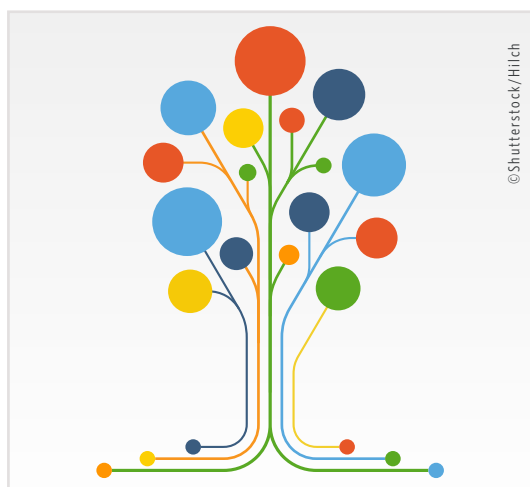
Il gentiluomo che ha un leggero strabismo, come la tradizione medievale attribuiva a Orlando, accoglie i visitatori della mostra in un modo quasi enigmatico; ci si chiede: «Perché questo quadro?». Scopriamo così che il labirinto è ed è stato uno dei simboli preferiti dalla critica letteraria per rappresentare la trama del poema di Ariosto. L'opera infatti intreccia una serie di

trame e sottotrame popolate da moltitudini di personaggi che si smarriscono in continuazione in quel labirinto che è la “selva” – metafora della vita. I personaggi dell'*Orlando furioso* si trovano di fronte a bivi concreti o morali tra i quali devono continuamente scegliere: si tratta di un «modello narrativo aperto dove a ogni angolo di strada si possono spalancare nuove prospettive» (come si legge nell'introduzione a un'altra delle sale della mostra di Ferrara dedicata al Labirinto dell'intreccio).

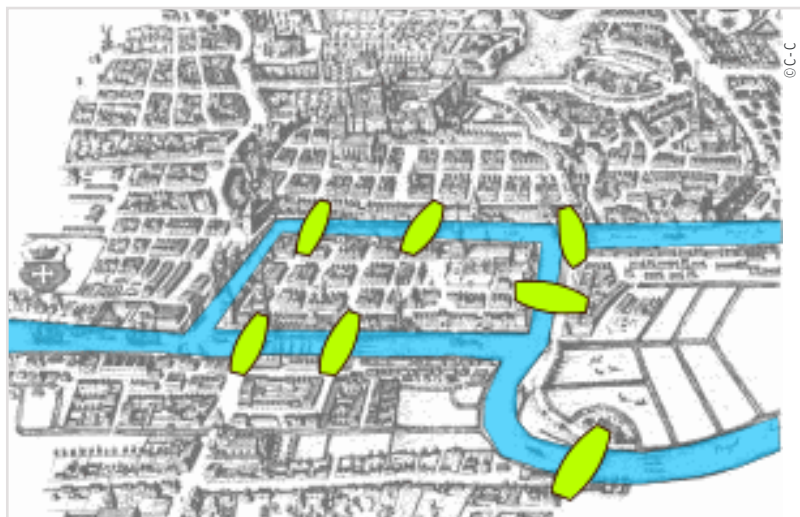
I labirinti sono sempre stati guardati come oggetti ricchi di fascino non solo dal punto di vista artistico e letterario ma anche da quello matematico e scientifico.

IL PROBLEMA DEI SETTE PONTI

Un labirinto ha dato origine a una nuova branca della matematica: la topologia (che si occupa di studiare le proprietà delle figure geometriche che non dipendono da particolari trasformazioni come per esempio le deformazioni). La topologia inizia nel Settecento con il cosiddetto “problema dei sette ponti della città di Königsberg” di Euler: «sul fiume Pregelarme che attraversa la città di Königsberg c'erano sette ponti e due isole [...] e la sfida per gli abitanti era di trovare un percorso che consentisse di attraversare tutti i ponti, passando una sola volta su ogni ponte. Euler sostituì la terra ferma e le due isole con punti e ogni ponte con un segmento o un arco. Il problema consisteva ora nel riuscire a disegnare questa figura con un tratto continuo di penna, senza ripassare su alcun arco, ed Euler dimostrò che questo era impossibile» (vedi articolo *La matematica dei labirinti*, dal portale Polymath del Politecnico di Torino, link.pearson.it/3D5C14DE). Agli occhi dei matematici dunque, i labirinti sono oggetti molto interessanti e sono studiati, in particolare, dalla teoria dei grafi, una branca della topologia che studia determinate rappresentazioni grafiche (dette appunto “grafi”) utili per analizzare molti problemi pratici, come per esempio quando si vuole evitare che i cavi elettrici si sovrappongano, cioè non si incrocino mai, oppure quando bisogna regolare il funzionamento di certi circuiti in elettronica (dove il segnale elettrico in entrata e quello in uscita formano un “anello di reazione”). Fa parte della teoria dei grafi anche il famoso “problema dei quattro colori” che consiste nel chiedersi se è sufficiente usare solo quattro colori per colorare una qualsiasi mappa geografica costituita da regioni confinanti, in modo tale che le regioni adiacenti non abbiano lo stesso colore.



Ogni biforcazione dei rami dell'albero, come la “y pitagorica”, rappresenta simbolicamente l'atto di scegliere



La mappa della città di Königsberg di Euler

UN ALBERO PER DECIDERE

Oltre al labirinto, sempre nella prima sala della mostra di Ferrara, incontriamo un altro simbolo legato all'*Orlando furioso*: la “y pitagorica”, intagliata in una bellissima cornice di legno dorato di uno specchio del 1500. La lettera y infatti è collegata all'azione dello scegliere, alle scelte che i personaggi del poema compiono in continuazione. La lettera y compare nei testi pitagorici a indicare la scelta fra le strade alternative del bene e del male. Nei quadri medievali, per esempio, Adamo ed Eva sono separati da un albero a forma di y. Il dotto carolingio Remigio Auxerre (841-910 d.C.), in un commento a Marziano Capella, spiega come la y «esprime la differenza morale della biforcazione dei sentieri [...] in pieno accordo con gli insegnamenti di Pitagora» ed essa «inizia con un tronco che si divide in un bivio». Questa immagine può essere fatta risalire a un commento all'*Eneide* di Virgilio, scritto da Servio, un autore del IV secolo. Servio infatti parla di un albero, trovato da Enea all'entrata dell'Ade, che aveva la forma di una y. Un labirinto può essere visto inoltre come una serie di scelte e di bivi successivi, che sembrano così disegnare una specie di “albero delle scelte”. Quanti legami fra matematica e arte e filosofia! In matematica e in informatica, la struttura ad albero (o ad alberi decisionali) è alla base degli algoritmi di risoluzione dei problemi e ne rappresenta graficamente la strategia. Gli alberi decisionali individuano visivamente le scelte possibili e permettono di prevederne i diversi risultati. Per esempio, se vogliamo capire se è la giornata ideale per giocare a tennis oppure no, possiamo schematizzare il problema con un albero, che si ramifica a seconda delle condizioni climatiche (sole/pioggia, vento forte/debole, valori di umidità normale/alta) e che alla fine del percorso dà la risposta “sì” oppure “no”.



In questa immagine la Luna piena, vista dall'emisfero boreale della Terra, sembra d'acciaio come nella descrizione dell'Ariosto

SCIENZIATI ARTISTI E LETTERATI

L'approccio grafico – come nell'esempio degli alberi decisionali – ha il vantaggio, rispetto a un testo scritto, di mettere subito sotto agli occhi lo schema del problema e della sua possibile soluzione.

Leonardo da Vinci si spinse oltre lungo questo ragionamento, sostenendo la superiorità della pittura rispetto alla poesia: quest'ultima infatti, secondo Leonardo, è costretta a riportare le azioni una di seguito all'altra, a differenza di un quadro, dove gli avvenimenti si possono rappresentare simultaneamente. Il critico Marco Praloran sostiene che Ariosto abbia cercato di rispondere a Leonardo con la sua particolare narrazione delle numerose battaglie del suo poema, cambiando di continuo i piani di inquadratura, in modo da dimostrare come anche la poesia possa esprimere la contemporaneità delle azioni della vita e rappresentare il mondo al pari della pittura.

Visto che stiamo parlando di scienziati che sono stati anche artisti e scrittori, vale la pena di citare Galileo Galilei. Forse è poco noto che Galileo stesso era pittore, oltre che scrittore. A scuola lo si studia in italiano, ma potrebbe essere oggetto anche dei libri di Storia dell'arte: nel 2007 sono stati infatti

ritrovati sei acquerelli rappresentanti la Luna (link.pearson.it/A4554564), che secondo il professor Horst Bredekamp, direttore dell'Istituto di storia dell'arte della Humboldt Universität di Berlino, sono vere e proprie opere d'arte. Ecco quindi un legame fra Galileo e Ariosto: la Luna. Un altro amante della Luna è infatti Ariosto – come vedremo fra poco – ma la curiosità interessante è che Galileo aveva letto e amato egli stesso l'*Orlando furioso*, fino al punto di saperlo a memoria e di citarlo spesso nei suoi scritti, preferendolo al Tasso. Galileo definisce il *Furioso* «magnifico, ricco, mirabile» e «abbondantissimo di parole, frasi, locuzioni e concetti», nel suo testo intitolato *Considerazioni al Tasso*.

LA LUNA

Nel XXXIV canto dell'*Orlando furioso* si narra del favoloso viaggio di Astolfo sulla Luna, che è vista come una sfera d'acciaio lucida e riflettente. Questa descrizione non è stata però la prima "scelta" dell'Ariosto, che nel corso del tempo ha più volte cambiato idea, come dimostrano le edizioni successive del poema. Leggiamo infatti le osservazioni riportate nel capitolo "La Luna"

nell'*Orlando furioso* di Ariosto nel testo online dedicato a Leopardi, a cura di Angela Acclavio (link.pearson.it/FF70C6FB). Seguendo il suggerimento del libro *L'astro narrante* di Pietro Greco (Springer, 2009), sono state analizzate le edizioni del 1516, del 1521 e del 1532. «Dal confronto si può notare come nell'edizione del 1516 la Luna appare ai suoi visitatori "per lo più parte" di acciaio e senza macchia alcuna, "ma pare di vetro in altra parte". Nella seconda edizione del 1521, la Luna appare d'acciaio senza macchia alcuna in alcune parti e "altrove come vetro". Nella terza e definitiva edizione del 1532, infine, ogni somiglianza col vetro scompare e la Luna appare tutta d'acciaio. L'acciaio, per Ariosto, è sinonimo di brillantezza e robustezza; il vetro, invece, di trasparenza e fragilità. È evidente come nelle prime due edizioni il poeta emiliano voglia dare alla Luna l'immagine di un pianeta che è insieme robusto e fragile, una combinazione di opposti in antitesi. Successivamente, invece, si rende conto che questa immagine non è coerente con le descrizioni e i versi successivi, dove la Luna appare come la Terra, con valli e montagne.» Da notare che la versione finale del satellite terrestre concorda con l'immagine riportata da Leonardo da Vinci, che la descriveva simile alle «palle dorate poste sulla sommità degli alti edifici». Il primo a descrivere la Luna dal punto di vista scientifico fu – altra coincidenza? – proprio Galileo, nel 1609 nel suo famoso testo *Sidereus Nuncius*.

UNO SGUARDO SUL MONDO

Il viaggio di Astolfo sulla Luna rispecchia la concezione delle scienze celesti del Cinquecento e in particolare della cultura della Corte rinascimentale. Nel saggio *La luna di Ariosto* di Lucia Dell'Aia (Schifanoia, 2016) si ricorda come la cultura della corte ferrarese, di tipo platonico, integrasse le divinità pagane e le filosofie della natura insieme ai miti antichi, oltre a manifestare interesse verso le indagini astronomiche, come quelle delle opere di Plutarco.

Per esempio, nel dialogo *Il volto della luna* (pubblicato nei *Moralia*), Plutarco sostiene la natura terrestre della Luna e, ricorda Dell'Aia, proprio come Ariosto «ha creato una corrispondenza e una specularità fra Terra e Luna che risponde al bisogno poetico di descrivere gli oggetti di lassù per rappresentare i fatti degli uomini».

Lo sguardo di Ariosto non è di evasione rispetto alla realtà ma, al contrario, è rivolto a interpretare il mondo che lo circonda. Come ricorda Antonio Piromalli nella sua *Storia della letteratura italiana*, «la scienza e l'osservazione sono gli elementi naturalizzanti dell'arte del poeta, che si dispiega con una scientifica coerenza di invenzioni e di disegno» propri della cultura rinascimentale, che vede «artisticamente la realtà secondo uno stampo naturalistico e scientifico»

(link.pearson.it/4480AC7A).

CONTRO L'ABOMINOSO ORDIGNO

Lo sguardo critico di Ariosto non esclude neppure le invenzioni della tecnica, come per esempio l'archibugio, nuova e micidiale arma da guerra. Nei canti aggiuntivi all'edizione del *Furioso* del 1532, Ariosto maledice il "ferro bugio" perché consente a un vile di uccidere a distanza un prode: nella parte finale canto IX, Orlando scaglia in mare l'archibugio apostrofandolo come «maladetto» e «abominoso ordigno».

La visione del mondo dell'Ariosto e la sua voce poetica continuano a portare un messaggio valido anche per il nostro tempo.



© Shutterstock/ Dario Lo Presti

L'archibugio definito
già da Ariosto
«abominoso ordigno»

Francesca E. Magni

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



Scheda Didattica / Il fascino della scienza nell'*Orlando furioso*

di **Francesca E. Magni**

DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Quante volte compare il termine "labirinto" nell'*Orlando Furioso*? In quali passi?
2. Lo scrittore argentino Jorge Luis Borges ha scritto un famoso racconto intitolato *Il giardino dei sentieri che si biforcano*: di quale labirinto tratta il racconto?
3. Di che cosa si occupa la teoria dei grafi?
4. Oltre che ad Ariosto, Galileo si interessò anche a Dante. Qual è il titolo dell'opera giovanile che Galileo dedicò all'Inferno dantesco?
5. La Luna è stata oggetto di opere di numerosi poeti. Associa a ognuno l'opera corrispondente.

Plutarco	<i>La distanza della luna</i>
Giacomo Leopardi	<i>Canto notturno di un pastore errante dell'Asia</i>
Italo Calvino	<i>L'altro mondo, ovvero Stati e imperi della luna</i>
Giovanni Keplero	<i>Somnium</i>
Luigi Pirandello	<i>Male di luna</i>
Savinien Cyrano de Bergerac	<i>Il volto della luna</i>

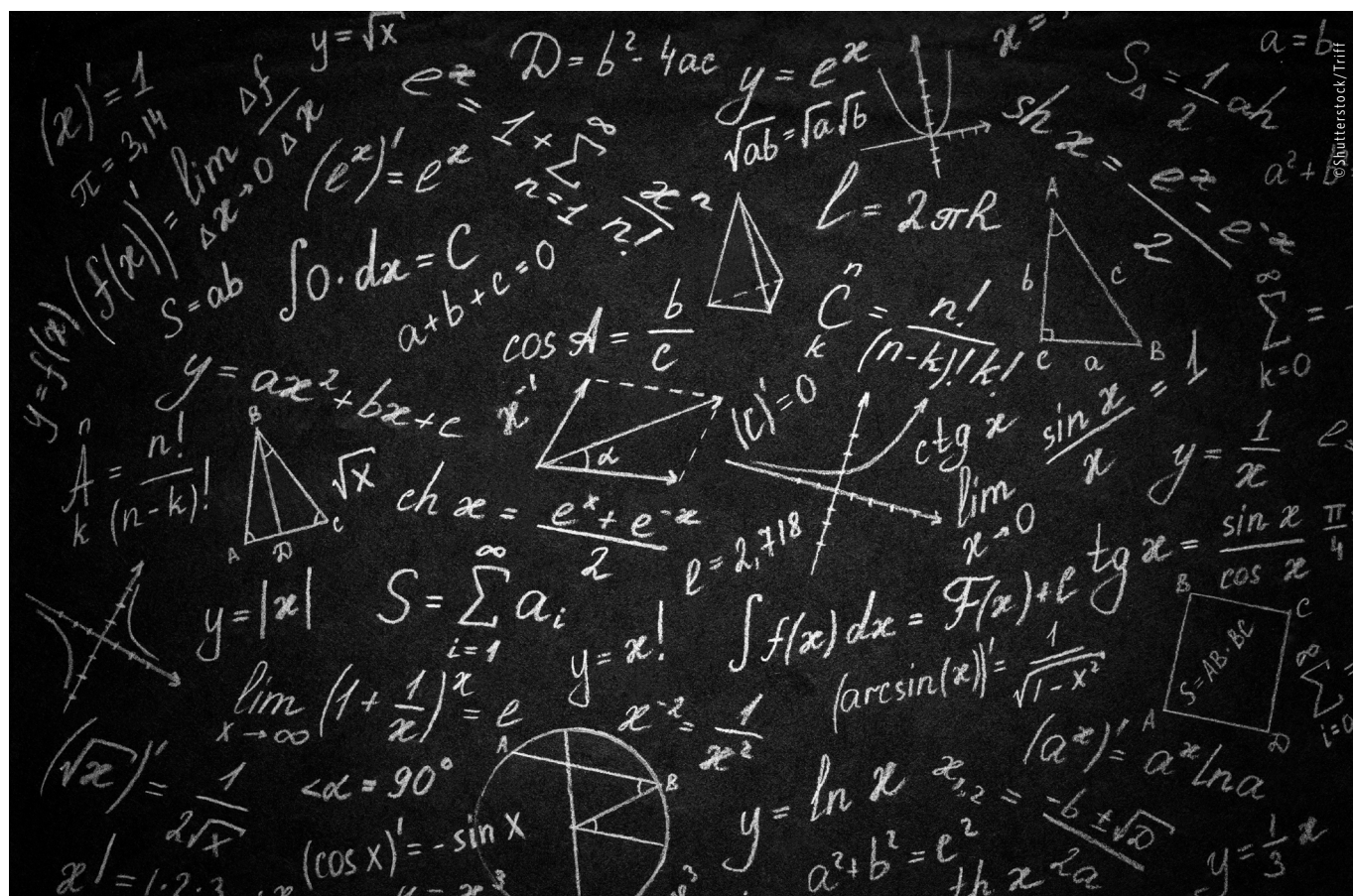
6. Completa il seguente brano dell'*Orlando Furioso*, scegliendo fra i seguenti termini quello che ritieni corretto: luna - a piedi - quindici - mesto - mondo

Adornerà la sua progenie bella,
come orna il sol la machina del ~~~~~
molto più de la ~~~~~ e d'ogni stella,
ch'ogn'altro lume a lui sempre è secondo.
Costui con pochi ~~~~~ e meno in sella
veggo uscir ~~~~~, e poi tornar iocondo;
che ~~~~~ mill'altri legni alle sue rive.

La nascita del principe dei matematici

di **Giovanna Guidone**

Il grande matematico Carl Friedrich Gauss ha espresso fin da bambino il suo talento: dalla somma dei numeri da 1 a 100 alla costruzione con riga e compasso, ecco i suoi primi, notevoli risultati.



La genialità di Gauss si è espressa nel saper rendere semplici ciò che all'apparenza è complesso

Immaginate una mattina uggiosa di quelle che capitano in certi paesi del Nord Europa, una classe di scolaretti di 10 anni, vivaci e irrequieti perché non si può andare a giocare fuori, e un maestro dai metodi decisamente severi con una disperata esigenza di avere mezz'ora di quiete.

Questa è all'incirca la scena, a metà tra storia e leggenda, in cui fece il suo esordio matematico pubblico colui che passerà alla storia come il *Princeps Mathematicorum*.

Quella mattina il maestro Büttner, arrivando nella classe di Carl Friedrich Gauss, nella sua scuola di Braunschweig, un piccolo paese della bassa Sassonia, ebbe un'idea brillante. «Per tenere buoni questi pargoli – si disse – la matematica può tornarmi utile.»

Così, appena entrato, propose ai suoi alunni un quesito di aritmetica: «Sommate i numeri da uno a cento – tuonò – e il primo che avrà ottenuto il risultato corretto porti la sua lavagnetta qui alla cattedra».

UN ALUNNO STRAORDINARIO

Forse il maestro non si era reso conto di chi avesse come alunno. Ragazzino vivace, figlio di un giardiniere, guardiano dei canali e fornaciaio, Carl Friedrich aveva già dato prova di un talento straordinario. Si narra che all'età di soli tre anni, guardando il padre che consegnava la paga settimanale ai suoi operai, si accorse di un errore di calcolo. Ciononostante, il padre, uomo molto concreto, non apprezzava l'idea che il figlio proseguisse negli studi e voleva che si avviasse a uno dei mestieri di famiglia. Le sue doti, invece, erano tenute in gran considerazione dalla mamma, che fu sempre la sua più grande sostenitrice. Quella mattina, a scuola, dopo un minuto sulla lavagnetta di Gauss era comparso il risultato: 5050. La somma esatta dei numeri da 1 a 100! Probabilmente il maestro lo mandò a posto: non sappiamo come proseguì la lezione.

IL GUIZZO DEL GENIO

Sappiamo però che la velocità della risposta non era dovuta a una straordinaria abilità nei calcoli. Gauss non sarebbe diventato la persona più autorevole e poliedrica del panorama matematico del XIX secolo solo per le doti di calcolo, che pure possedeva. Ciò che Gauss quel giorno mostrò fu piuttosto il talento dei geni, che spesso consiste nel saper rendere semplici e trasparenti cose macchinose e senza apparenti connessioni interne. E quando queste intuizioni vengono esplicitate, succede, come succederà a voi tra un attimo, che le persone *normali* si trovino a pensare «Ma certo, che idea banale! Avrei potuto arrivarci anche io». Ebbene, l'idea del giovanissimo Gauss fu molto semplicemente quella di rintracciare una simmetria nella somma che il maestro aveva assegnato alla classe: per sommare $1+2+3+\dots+98+99+100$ si possono ripetere i numeri su due righe così:

1	2	3	...	...	...	99	100
100	99	98	...	...	...	2	1

Abbiamo davanti agli occhi 100 colonne la cui somma è sempre uguale a 101. La somma di tutti i numeri in tabella è pertanto 100×101 .

E poiché i numeri sono il doppio di quelli dati dal maestro, il risultato cercato è 50×101 .

Una volta rivelata questa simmetria, non sarà difficile sommare i numeri da 1 a 500, da 100 a 1000 e così via. Se volete essere sicuri di aver capito, potete provare ad applicare il metodo di Gauss per calcolare la somma dei primi cento numeri dispari.



Ritratto di
Carl Friedrich Gauss

MAESTRI LUNGIMIRANTI

Il burbero maestro di Gauss fu impressionato da questa prestazione dell'alunno e generosamente gli regalò il miglior libro di matematica che aveva. Lo affidò inoltre alle cure di un suo giovane assistente che, sebbene avesse incarichi minori a scuola, mostrava talento e interesse per la matematica. Costui si prodigò perché il ragazzino avesse il sostegno delle ricche famiglie locali e il piccolo Gauss finì per diventare il protetto del Duca di Brunswick, che gli assicurò i mezzi economici sufficienti perché potesse finire gli studi secondari e quelli universitari. Gauss era uno studente brillante in tutti i campi: a lungo coltivò il dubbio se studiare matematica o dedicarsi alle lettere classiche. Ciò che lo fece decidere fu il successo che maturò a diciannove anni, quando riuscì a trovare la soluzione a un problema che aveva tenuto in scacco i matematici per millenni. Questo problema riguarda la costruzione con riga e compasso dei poligoni regolari.

LA COSTRUZIONE CON RIGA E COMPASSO

Eseguire una costruzione con riga e compasso significa tracciare rette, semirette, segmenti e circonferenze servendosi esclusivamente di una riga (non graduata) e di un compasso con apertura da 0 a infinito. Si possono costruire con riga e compasso il punto medio di un segmento e la parallela e la perpendicolare a una retta passanti per un punto. Inoltre, dati due segmenti di lunghezza a e b (con a e b reali positivi) è possibile costruire con riga e compasso segmenti la cui lunghezza rappresenta la somma, la differenza, il prodotto e il quoziente tra a e b .

E si può anche costruire la radice quadrata di a .

Negli *Elementi*, Euclide fornisce costruzioni esplicite o indicazioni per costruire con riga e compasso i poligoni con 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15 e 16 lati. Nessuno però, nonostante i numerosi tentativi, era riuscito a stabilire se un poligono di diciassette lati fosse costruibile con riga e compasso.

La novità rivoluzionaria introdotta dal giovane Gauss fu quella di tramutare il problema geometrico della costruibilità con riga e compasso nel problema algebrico della risolubilità di una certa equazione. La strada, se ci pensate bene, era stata aperta 140 anni prima con l'introduzione delle cosiddette coordinate cartesiane, che trasformano problemi algebrici in problemi geometrici e viceversa. Gauss partì dal fatto che ogni singolo passo di una costruzione fatta con riga e compasso, quando viene letto sul piano cartesiano, corrisponde alla soluzione di un'equazione di primo o secondo grado (come quelle che scaturiscono dall'intersezione fra due rette o di due circonferenze). Con ragionamenti algebrici, Gauss dimostrò che un poligono regolare di n lati è costruibile con riga e compasso se e solo se n è una potenza intera di 2 o il prodotto di una potenza di 2 e di uno o più primi di Fermat, cioè primi della forma $2^{2^n} + 1$.

Quindi un poligono di 17 lati si può costruire con riga e compasso perché $17=2^4+1$ (a questo indirizzo un'animazione che mostra la costruzione di un eptadecagono: link.pearson.it/55EFBB27).

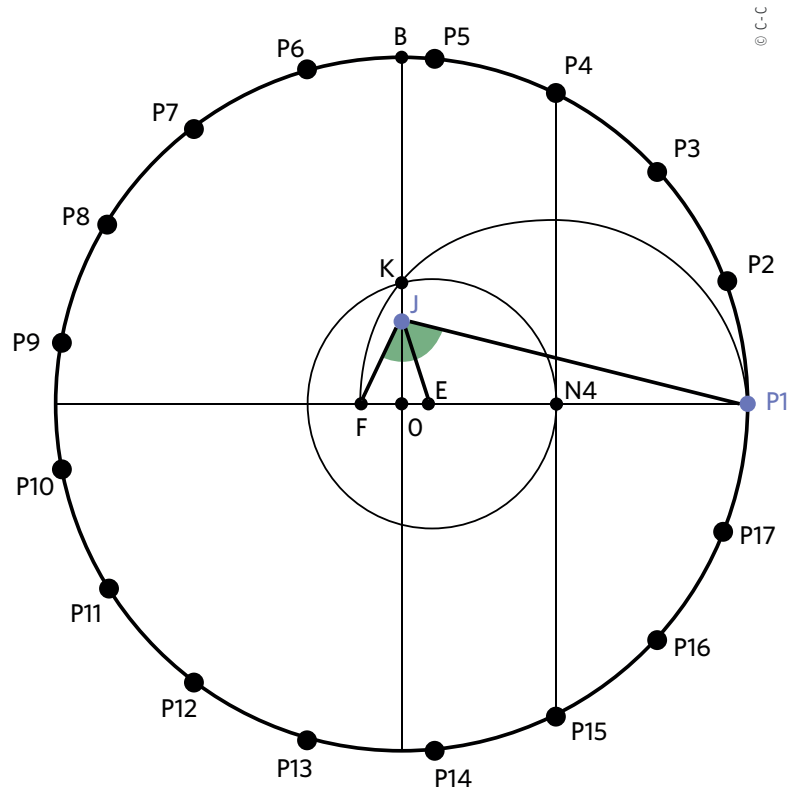
Fu proprio questa scoperta che spinse il giovane verso la carriera di matematico, allontanandolo per sempre dallo studio delle lingue.

MA ANCHE MAESTRI OTTUSI

Anche l'episodio della scoperta della costruibilità dell'eptadecagono è caratterizzato, nella vita di Gauss, dalla particolare interazione con un maestro. Sembra infatti che quando lo studente gli mostrò con fierezza il risultato ottenuto, Erich Kästner, insegnante di Gauss a Gottinga, lo abbia liquidato sostenendo che si trattava di una questione di scarso interesse.

Gauss pubblicò ugualmente il suo risultato, che gli recò fama e soddisfazioni così grandi che egli chiese che un eptadecagono fosse inciso sulla sua tomba. Il suo desiderio non fu esaudito, perché il marmista sosteneva che un poligono di 17 lati inciso nel marmo non si distingue da un cerchio. Se andate a Braunschweig, però, potete cercare il monumento a Gauss sul cui basamento, di lato, è stata incisa una stella a 17 punte.

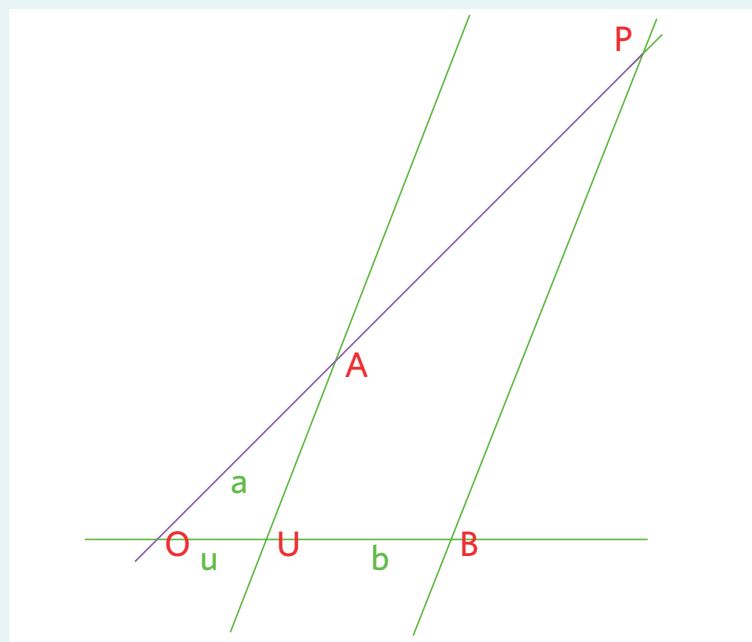
Probabilmente Gauss serbò per tutta la vita gratitudine per il suo burbero maestro di scuola elementare. Quanto a Kästner, lo ripagò della stessa moneta: poiché l'ottuso professore si vantava anche



La costruzione dell'eptadecagono di Gauss

METTITI ALLA PROVA CON UNA SEMPLICE COSTRUZIONE CON RIGA E COMPASSO

Guarda la figura qui sotto. Supponiamo che OU abbia lunghezza 1 e rappresentiamo due numeri a e b (maggiori di zero) attraverso le lunghezze dei segmenti OA e UB. Cerca di spiegare perché nella costruzione mostrata in figura sia rappresentato un segmento la cui lunghezza è esattamente il prodotto tra a e b . Come suggerimento, puoi considerare il fatto che i triangoli OAU e OPB sono simili...



di essere un poeta, Gauss lo lodò come il miglior poeta fra tutti i matematici e il miglior matematico fra tutti i poeti.

PRINCEPS PER LUNGI SECOLI

Nessuno dei suoi insegnanti avrebbe comunque immaginato che Gauss sarebbe diventato il *Princeps* della matematica tutta, dando il via a innumerevoli filoni di ricerca ancora oggi molto attuali. Egli infatti si occupò di meccanica celeste (previde con esattezza il passaggio di Cerere, un pianeta nano di cui nessuno riusciva a seguire l'orbita), introdusse importanti concetti statistici (la "gaussiana" è una curva di cui avrete sentito parlare), si dedicò allo studio della geometria intrinseca della superficie (su cui riposa la Teoria della Relatività), raggiunse risultati inattesi in teoria dei numeri (nelle *Disquisitiones* inventò la teoria delle congruenze) e molto altro. Pubblicava i suoi risultati dopo molte meditazioni e solo quando li considerava *maturi*. Si è detto che se avesse divulgato tutto ciò che sapeva, la matematica avrebbe fatto un improvviso balzo in avanti di cinquanta anni, ma che, poi, ci sarebbero voluti cinquanta anni affinché i matematici dell'epoca comprendessero i suoi risultati. ●



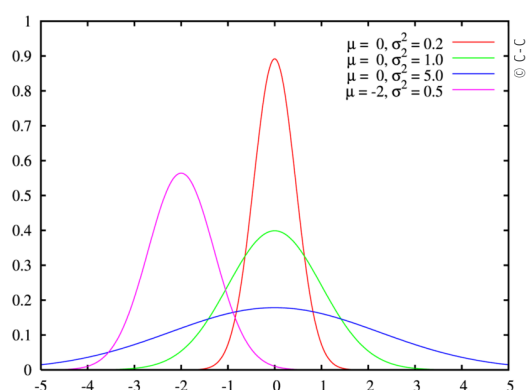
Tomba di Gauss nel cimitero *Albanifriedhof* di Göttinga



Casa natia di Gauss

UN ANEDDOTO, TANTI DETTAGLI

L'aneddoto del compito difficile proposto dal maestro Büttner che abbiamo raccontato in apertura è riportato in moltissime biografie di Gauss, ma con dettagli differenti. Il *locus classicus* che contiene quest'episodio è un volume pubblicato un anno dopo la morte del matematico ad opera di Wolfgang Sartorius, un professore di geologia all'Università di Göttinga, dove insegnava Gauss. Nel brano, però, non si fa riferimento ai numeri da 1 a 100, né tantomeno al metodo che Gauss avrebbe seguito per sommarli. Tra le tante versioni dell'accaduto, consiglio di leggere quella fornita da E. T. Bell nel suo libro impagabile *I Grandi Matematici* (Rizzoli, 1997), che è una miniera inesauribile di episodi pittoreschi narrati spesso con notevole inventiva.



La distribuzione gaussiana degli errori

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 **Donato Ramani**

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

LE PIANTE SONO BRUTTE BESTIE

Per esperti di botanica e appassionati dal pollice verde. Ma anche per chi vuole avvicinarsi a una realtà affascinante in cui molto resta da sapere, e da scoprire. Nel suo libro Renato Bruni, professore dell'Università di Parma, ci conduce in un viaggio tra aiuole, prati e vasi per imparare che, tra la biologia e la chimica, tra l'ecologia e la fisica, «le piante non sono le creature semplici e angelicate che crediamo». Tra stranezze vegetali e osservazioni, storie poco note ed esperienze sul campo, Bruni trapianta il microcosmo di un giardino nella grande scatola dei fenomeni planetari, insegnandoci che anche le nostre abitudini nella gestione degli spazi verdi non sempre è amica dell'ambiente.

Renato Bruni, *Le piante son brutte bestie*.

La scienza in giardino, Codice edizioni, 2017

VITA SINTETICA

I laboratori in giro per il mondo ci lavorano da tempo. E i primi risultati ci sono già. Syn 3.0, prodotto dal gruppo del noto scienziato Craig Venter, fu annunciato un anno fa come «il primo batterio sintetico in grado di auto-replicarsi». Sebbene questi microrganismi progettati dall'uomo non siano ancora usciti dal laboratorio, da soli segnano un momento fondamentale dell'evoluzione scientifica. Infatti, se da un lato si pongono delle questioni importanti legate al loro possibile impatto, anche in termini di sicurezza, dall'altro questi microrganismi offrono inedite prospettive che l'autrice, giornalista scientifica dell'ANSA, descrive in questo volume.

Un esempio? Ripulire acque e terreni inquinati, produrre farmaci su misura e, chi lo sa, addirittura rendere abitabili altri pianeti.

Enrica Battifoglia, *Vita sintetica. Breve storia degli organismi che non esistono in natura*, Hoepli, 2017

link.pearson.it/D0F6D9D9

LA TREDICESIMA TAVOLA

Una misteriosa tavola didattica per l'insegnamento dell'evoluzione biologica scomparsa da tutte le università e le biblioteche del mondo, i terribili segreti che nasconde e la storia della sua ricerca si intrecciano con vecchie storie di spionaggio, di carriere accademiche, di amore e gelosia. Vicende che si concludono con delitti, ricatti, incendi e battaglie navali. Insomma, gli ingredienti per incuriosire e avvincere, il nuovo libro di Bruno Bertolini li ha davvero tutti. Bertolini ha insegnato biologia cellulare e anatomia comparata all'Università La Sapienza di Roma e per la casa editrice Carabba ha già pubblicato due romanzi *Mai esistito* nel 2014 e *L'invenzione dell'ombrello* nel 2015.

Bruno Bertolini, *La tredicesima tavola*, Carabba, 2017

link.pearson.it/B031503C

Sul web

LA FISICA SPIEGATA DA DIANNA

Si chiama *Physics girl* il canale Youtube ideato da Dianna Cowern tutto dedicato alla fisica, all'astronomia e più in generale, a interessanti questioni scientifiche. Nato come progetto personale, al termine del college, per la scienziata Dianna, l'iniziativa è diventata presto un successo con video che contano milioni di visualizzazioni.

Con l'aiuto di grafici, esperimenti, interviste a esperti e immagini, non c'è tema, dal più semplice al più complesso, che non venga affrontato. *Perché l'Universo è piatto? Che cos'è la materia oscura?* ma anche *5 strani modi per spegnere una candela* o *Come ricreare un uragano in una bolla* sono solo alcuni titoli dei video pubblicati, in cui sono trattate questioni scientifiche in modo semplice, rigoroso, divertente e informale.

Physics girl link.pearson.it/C73660AA

VINCI UN'IMMAGINE DI SCIENZA

Il Wellcome Image Awards, il concorso che premia le più belle immagini che celebrano "la scienza, la medicina e la vita", festeggia il suo ventesimo

anniversario. Buona occasione per esplorare i vincitori dell'edizione 2017 nella gallery online, partecipare al voto popolare e portarsi a casa uno scatto speciale. Le fotografie premiate provengono dai laboratori di tutto il mondo. Bellissime ed emozionanti, raccontano in un solo scatto la meraviglia della scienza e della ricerca. Sul sito, ogni foto è accompagnata da una descrizione del tema affrontato e delle modalità con cui è stata realizzata. Per vincere un'immagine tra quelle selezionate quest'anno dalla giuria, potete partecipare al concorso per il pubblico, votando la vostra preferita sul sito dell'iniziativa, nella sezione *Vote your favourite*. Scadenza: 31 agosto 2017.

Wellcome Image Awards link.pearson.it/5E3F3110

Musei

IL NUOVO PLANETARIO 3D

Ha appena aperto i battenti ma il Planetario 3D di Città della Scienza, a Napoli, ed è già un appuntamento da non perdere. Descritto come «il più avanzato tecnologicamente» e dotato di un sistema di proiezione di ultima generazione, è un'attrazione divertente e molto formativa per esplorare il firmamento e scoprire i segreti degli oggetti astronomici che lo popolano.

Un ricco palinsesto di spettacoli scientifici sviluppati in collaborazione con i principali centri ricerca e agenzie spaziali come la Nasa e l'Esa.

Planetario 3D di Città della Scienza

link.pearson.it/B75C9425

Mostre

IO, ROBOTTO. AUTOMI DA COMPAGNIA

90 modelli originali per raccontare come i robot siano già entrati nel nostro mondo come giocattolo o come strumento domestico. La mostra, aperta fino al 27 agosto presso il Palazzo Alberti Poja di Rovereto, in provincia di Trento, è un'occasione per conoscere un fenomeno e i suoi protagonisti. Dal Karakuri Tea Serving Robot, in grado di portare una tazza di tè al Robocco Pouring Beer Robot che, oltre che fungere da frigorifero, è in grado di stappare una lattina e versare la birra, fino ai diversi dispositivi pensati per il puro intrattenimento come il celebre Furby o Aibo, il cane robot. Il tutto assieme a un'ampia offerta di incontri, laboratori didattici per adulti e ragazzi e altre iniziative.

Io, Robotto. Automi da compagnia

link.pearson.it/C05BA4B3

DINOSAURI. GIGANTI DALL'ARGENTINA

Fino al 9 luglio al Mudec di Milano, tiene aperti i battenti la mostra che esplora l'evoluzione dei dinosauri con reperti unici provenienti da un territorio molto ricco dal punto di vista paleontologico come l'Argentina. In esposizione anche le riproduzioni a grandezza naturale, come quella dell'erbivoro *Argentinosaurus huinculensis* che poteva raggiungere i 38 metri di lunghezza, e il più grande carnivoro terrestre finora conosciuto, il *Giganotosaurus carolinii*, 13 metri di lunghezza per 10 tonnellate, più grande del più famoso *Tyrannosaurus rex*.

Presso lo stesso Mudec, fino al 9 luglio troverete anche l'esposizione *Rex and the city*.

I sauri e noi che, dai dinosauri ai draghi fino alle chimere, indaga l'immaginario e le rappresentazioni nelle diverse culture legati al mondo di questi rettili, reali o fantastici.

Mudec link.pearson.it/5952F509

UOMO VIRTUALE. LA FISICA ESPLORA IL CORPO

Conoscere il nostro corpo grazie alle idee, alle scoperte e alle tecnologie nate dalla ricerca fondamentale in fisica. È questo il tema della mostra organizzata presso *Blu, palazzo d'arte e cultura* di Pisa dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e della Fondazione Palazzo Blu, con la collaborazione del Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa e l'Associazione La Nuova Limonaia.

Dai Raggi X alla radioattività fino alle applicazioni diagnostiche più moderne, l'unione tra i segreti del nostro organismo e le scoperte della fisica è strettissimo. *Uomo virtuale* investiga questa connessione, per esplorare quell'universo misterioso e affascinante che siamo noi stessi, in un'avventura che promette di stupirci con applicazioni sempre più sorprendenti, per la ricerca, la cura e la diagnostica. Chiude il 2 luglio.

Uomo virtuale. La fisica esplora il corpo

link.pearson.it/2E55C59F ●

Donato Ramani

è giornalista e project manager del Master in comunicazione della scienza Franco Prattico della SISSA di Trieste. Si occupa di formazione in comunicazione scientifica e scrive per diverse testate di scienza e non solo.



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: cellule tumorali

Credit: Volha Vshyukova/Corporate+

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