

# science magazine

13  
APRILE 2016

LA SCIENZA IN CLASSE



**ATTUALITÀ PER LA CLASSE**

**Onde gravitazionali, una grande scoperta**

di Pasquale Di Nezza e Paolo Lenisa

2

**ATTUALITÀ PER LA CLASSE**

**Il clima cambia, il mare pure**

di Maria Cristina Gambi

9

**ESPERIENZE DI CLASSE**

**Studenti nel bosco**

di Adele Riccetti e Giuseppe De Ninno

15

**CLIL - SCIENCE IN ENGLISH**

**Why roses are red and violets are blue**

by Chiara Ceci

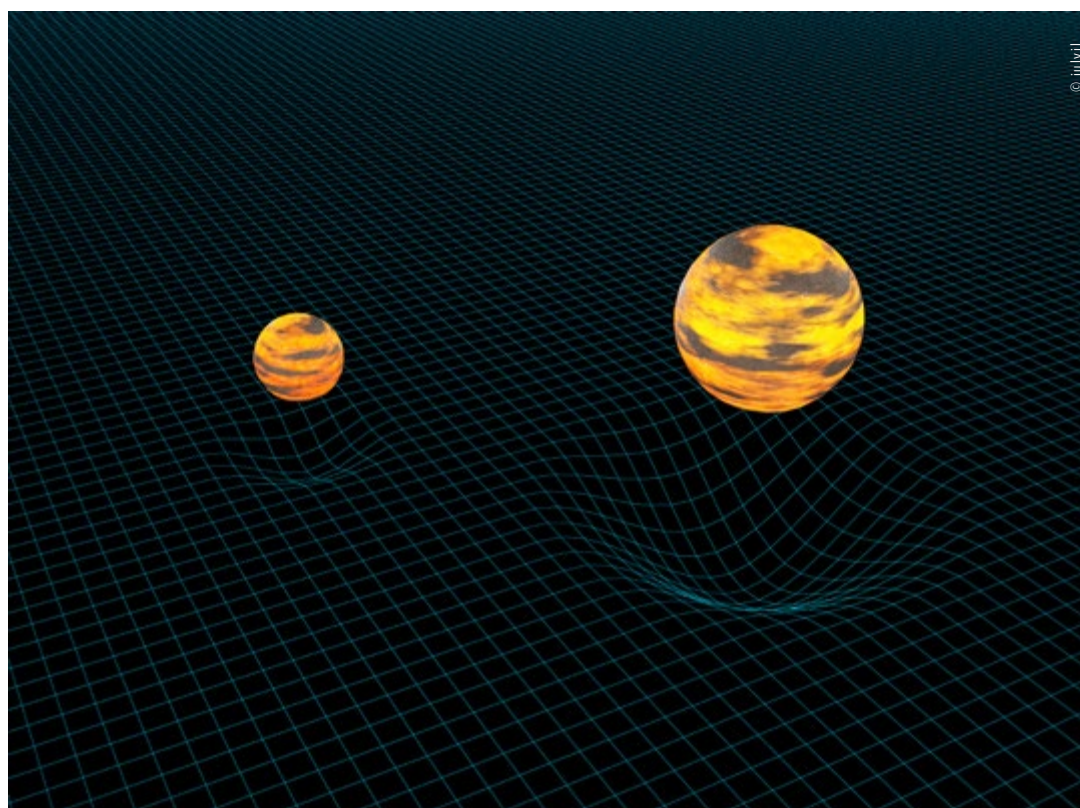
18



# Onde gravitazionali, una grande scoperta

di **Pasquale Di Nezza** e **Paolo Lenisa**

L'annuncio della rilevazione diretta delle onde gravitazionali, previste da Albert Einstein nel 1916, apre a nuove frontiere nello studio dell'Universo. Ma che cosa sono esattamente, queste onde, e cosa c'entrano con la teoria della relatività generale? E soprattutto, come sono state rilevate? In questo articolo, un'accurata descrizione della scoperta, del suo inquadramento teorico, delle nuove prospettive di ricerca.



Modello di due  
oggetti e della forza  
gravitazionale sul  
piano

**L'**annuncio della scoperta delle onde gravitazionali, avvenuto l'11 febbraio scorso, va considerata come una delle più grandi conquiste dell'ingegno umano. È la conferma di una previsione effettuata cento anni fa da Albert Einstein, uno dei geni di ogni tempo, attraverso una delle teorie più rivoluzionarie rispetto allo stravolgimento del senso comune, quella della relatività generale. Al tempo stesso è il risultato di 50 anni di tentativi, e di 25 anni di perfezionamento tecnologico per la realizzazione di uno strumento

capace di misurare una variazione di un millesimo del diametro di un nucleo atomico su una lunghezza di 4 chilometri. Tutto questo per farci trovare pronti a sentire l'eco di un appuntamento catastrofico successo più di un miliardo di anni fa.

## **UN PASSO INDIETRO: LA TEORIA DELLA RELATIVITÀ GENERALE**

L'idea chiave della teoria della relatività generale di Einstein è che la gravità non sia una forza ordinaria, ma piuttosto una proprietà della

geometria dello spazio-tempo. Si pensi a uno spazio vuoto senza forze che agiscano tra i corpi in esso presenti. In questa situazione, la meccanica classica prevede che i corpi si muovano lungo linee rette a velocità costante. Per la fisica classica, affinché una particella si discosti dallo stato di moto rettilineo uniforme, deve esistere una forza che agisca su di essa: le forze accelerano le particelle e, variandone la velocità, possono discostare la loro traiettoria da quella rettilinea e originare traiettorie curve. Se consideriamo per semplicità uno spazio a due dimensioni, in cui due particelle si trovino a percorrere traiettorie parallele, tale effetto potrebbe essere causato dalla gravità newtoniana. Per esempio, la forza originata da un oggetto massiccio causerebbe una variazione delle traiettorie delle due particelle, che da parallele diventerebbero convergenti verso l'oggetto stesso. C'è però un'altra possibilità in cui due particelle con traiettorie inizialmente parallele si trovano a convergere in un unico punto: basta che le due particelle non si muovano su una superficie piana, ma su quella di una sfera. In questa situazione, non c'è alcuna forza che agendo sulle particelle le faccia deviare dalla traiettoria rettilinea, ma è il semplice fatto che le particelle si muovano su una sfera a implicare che i loro percorsi convergano.

La teoria di Einstein è esattamente analoga a questa situazione. Mentre nella teoria di Newton è la forza di gravità a deviare le particelle dalla traiettoria rettilinea, nella teoria della relatività generale di Einstein, la gravità è una distorsione dello spazio-tempo. Le particelle continuano a muoversi in linea retta nello spazio-tempo, ma siccome lo spazio-tempo stesso è distorto, esse si trovano a subire un'accelerazione e di conseguenza a percorrere traiettorie curve come se fossero sotto l'influenza di una forza.

Conseguenza di spazio e tempo intesi non come strutture rigide, ma come oggetti dinamici, è che la relatività generale prevede fenomeni fondamentalmente nuovi.

Uno dei più affascinanti è l'esistenza delle onde gravitazionali.

### DISTORSIONI DELLO SPAZIO-TEMPO

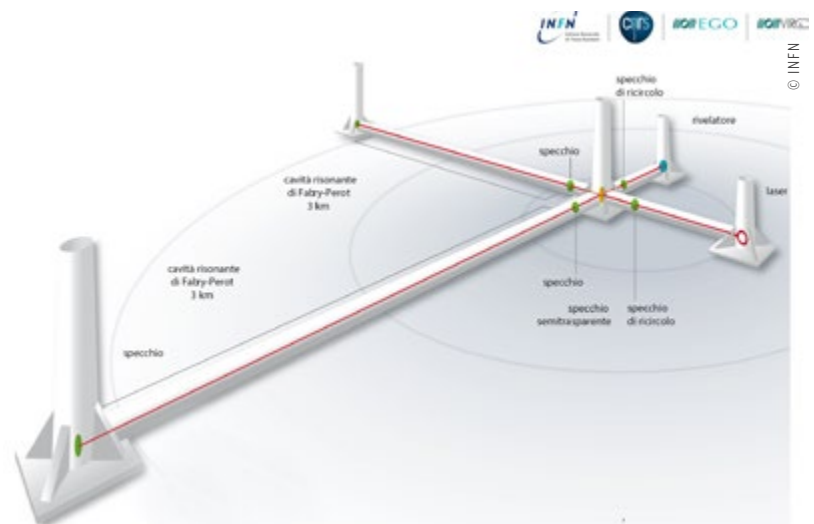
Tutti noi facciamo esperienza di vari fenomeni ondulatori nella vita di tutti i giorni. Nelle onde sonore, per esempio, una piccola regione di aria viene compressa, e il fatto che la pressione in una regione sia leggermente più alta di quella delle regioni confinanti porta alla sua espansione. Questa espansione, a sua volta, porta a una compressione nelle vicinanze e, in questo modo, la leggera eccedenza in pressione si propaga ulteriormente.



© Mijosh Kojadinovich

Onde di pressione sono prodotte anche quando parliamo: le nostre corde vocali comprimono l'aria intorno a loro, il suono viaggia come un'onda e le onde vengono assorbite dalle nostre orecchie quando sentiamo. Nelle onde gravitazionali, anche se la situazione è diversa, il principio di base è lo stesso: una leggera distorsione in una regione dello spazio-tempo perturba le regioni vicine. Il risultato è una distorsione dello spazio-tempo che si propaga alla massima velocità possibile che, per la teoria della relatività speciale, è quella della luce. Queste distorsioni viaggianti nella geometria dello spazio-tempo sono chiamate onde gravitazionali.

Secondo la teoria della relatività, la curvatura e la distorsione dello spazio-tempo sono legate alla distribuzione delle masse e dell'energia



Schema di un interferometro Michelson, nel caso specifico VIRGO

### “VEDERE” LE ONDE GRAVITAZIONALI

Le onde gravitazionali portano a distorsioni ritmiche dello spazio che influenzano il tempo impiegato da un segnale luminoso per viaggiare avanti e indietro tra due ipotetiche masse di prova in caduta libera. Siccome la distanza che la luce deve percorrere viene allungata o accorciata, il segnale luminoso stesso impiega più o meno tempo per viaggiare da una massa all'altra. All'inizio degli



Foto aerea dell'area di Cascina (Pisa) dove è montato l'interferometro VIRGO. Si notano i due bracci da 3 km che si incontrano nel punto in cui è montato il rivelatore che misura l'interferenza dei due fasci di luce laser

anni Settanta, i fisici compresero che era possibile rivelare questi infinitesimi cambiamenti nel tempo di percorrenza della luce tramite interferometri di tipo Michelson. Il principio di questi interferometri è quello di misurare la differenza di tempo che la luce impiega per viaggiare su due percorsi ortogonali tra loro, i cosiddetti bracci dell'interferometro. Un'onda gravitazionale allunga un braccio e contemporaneamente accorcia l'altro conducendo esattamente al tipo di differenza di tempo misurabile tramite un interferometro Michelson. È importante notare che stiamo parlando di variazioni infinitesime, dell'ordine di un millesimo del diametro del protone su una lunghezza di un chilometro.

Einstein stesso ne prevede l'esistenza come un puro esercizio matematico senza alcuna possibilità di essere mai provato sperimentalmente!

Gli esperimenti di ultima generazione per la rilevazione di tali onde prevedono che un fascio laser di lunghezza d'onda ben definita venga fatto viaggiare in tubi ad alto vuoto. Dopo un percorso iniziale, il fascio si divide tra due bracci lunghi alcuni chilometri e, riflessi da specchi ad altissima efficienza, i due fasci tornano indietro finendo su uno schermo. Se il cammino percorso dai due fasci è identico, essi interferiranno sullo schermo in maniera distruttiva dando luogo a un segnale nullo. Nel momento in cui il passaggio dell'onda gravitazionale dovesse accorciare un braccio dell'interferometro e allungare l'altro, l'interferenza non sarebbe più distruttiva, ma costruttiva dando luogo a un segnale proporzionale alla compressione e dilatazione dello spazio-tempo. Ovviamente i requisiti tecnologici per arrivare a una precisione di un millesimo di miliardesimo di

miliardesimo di metro richiedono uno sforzo al limite delle conoscenze fisiche e ingegneristiche. La deformazione misurata è proporzionale alla lunghezza percorsa dalla luce e quindi dei bracci dell'interferometro. Nei moderni apparati si hanno lunghezze di 3-4 km, una lunghezza tale da dover alzare un estremo del braccio per correggere la curvatura della superficie terrestre. Inoltre, la luce ha una velocità costante nel vuoto e quindi dovrà viaggiare senza incontrare atomi residui nei tubi dei bracci. Ecco perché con l'utilizzo di speciali tecniche da vuoto si raggiungono dei vuoti ultrasottili paragonabili a un millesimo di miliardesimo della pressione atmosferica.

#### IL PRIMO SEGNALE

Quattro sono al momento gli interferometri di ultimissima generazione deputati a tali misure: Virgo presso Cascina (Pisa) in Italia, GEO600 presso Heidelberg in Germania e Ligo, composto da due interferometri indipendenti, il primo a Hanford (Washington) ed il secondo a Livingston (Louisiana), entrambi in USA. Esiste però una stretta collaborazione relativa sia al funzionamento sia all'analisi dati tra gli esperimenti Virgo e Ligo. È stato infatti un ricercatore italiano – Marco Drago di Ferrara – che per primo si è accorto che un segnale importante era stato misurato dall'interferometro Ligo. Dopo mesi di controlli sugli apparati e sulle tecniche di analisi, l'11 febbraio 2016 il comunicato ufficiale è stato rilasciato, sicuri della certezza della misura effettuata.

Il fenomeno rilevato è stato generato dalla collisione di due buchi neri avvenuta 1,3 miliardi di anni fa. Utilizzando l'interferometro Ligo, gli scienziati hanno potuto ascoltare per 20 millesimi di secondo due buchi neri giganti – uno pari a 36 volte la



massa del Sole, l'altro leggermente più piccolo – che ruotavano uno attorno all'altro. All'inizio del segnale i due oggetti avevano cominciato a ruotare con una frequenza di 30 volte al secondo a una distanza di 400 chilometri l'uno dall'altro (quella che intercorre all'incirca tra Genova e Roma). Alla fine dei 20 millisecondi di dati, la loro frequenza di rotazione era arrivata a 250 volte al secondo prima di collidere e fondersi violentemente. In questa fusione finale durata un quinto di secondo, i due buchi neri coalescenti hanno emesso una quantità di energia 50 volte maggiore di quella emessa in tutto l'Universo in questo momento dall'effetto combinato di luce, onde radio, raggi X e raggi gamma.

#### NUOVE FRONTIERE NELL'ESPLORAZIONE DEL COSMO

La misura effettuata, oltre a tutte le informazioni fornite, rappresenta anche la certezza che si sono aperte le nuove frontiere della gravità, una nuova stagione di esplorazione del cosmo. Lo studio dei dati raccolti e di quelli che verranno in futuro ci aiuterà a capire meglio come funziona la forza gravitazionale in condizioni estreme mai esplorate prima, in modo da poter avere una descrizione unificata delle leggi della gravitazione e della meccanica quantistica che sappia descrivere i mattoni dell'Universo e il funzionamento e

l'evoluzione di quest'ultimo.

La comunità scientifica internazionale è già al lavoro per costruire gli esperimenti di prossima generazione che entreranno in funzione nei prossimi trent'anni. In particolare, si sta studiando la possibilità di inviare nello spazio una rete di tre satelliti, solidali con il moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole, che si scambieranno fasci di luce, proprio seguendo il principio degli interferometri terrestri, ma con fasci laser che, anziché viaggiare per 3 chilometri, viaggeranno per alcune decine di milioni di chilometri. Tali esperimenti ci permetteranno di misurare i fenomeni più remoti dell'Universo per arrivare a captare i sussurri dell'Universo primordiale. ●

#### PER APPROFONDIRE

- *Osservate le onde gravitazionali a 100 anni dalla previsione di Einstein*, comunicato stampa dell'annuncio della scoperta, INFN. [link.pearson.it/D00B5A0B](http://link.pearson.it/D00B5A0B)
- *La scoperta delle onde gravitazionali*, infografica INFN. [link.pearson.it/40B4479A](http://link.pearson.it/40B4479A)
- *Gravitational waves*, fumetto sulle onde gravitazionali di phdcomics.com. Anche in italiano. [link.pearson.it/37B3770C](http://link.pearson.it/37B3770C)
- Amos J., *Gravitational waves: a triumph for big science*, BBC Science News. [link.pearson.it/5774FEE9](http://link.pearson.it/5774FEE9)

#### Paolo Lenisa

è professore associato di fisica generale all'Università di Ferrara. Si occupa di fisica delle particelle elementari e delle simmetrie fondamentali della natura. Si interessa di divulgazione scientifica ed è appassionato di arte e cartografia antica.



#### Pasquale Di Nezza

è ricercatore presso l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e capogruppo dell'esperimento ALICE-LHC del CERN. Lavora nel campo della fisica delle alte energie ed è coordinatore del sito ScienzaPerTutti, portale di divulgazione scientifica dell'INFN.



## Scheda Didattica / Onde gravitazionali, una grande scoperta

di Roberto Vanzetto

### DOMANDE E ATTIVITÀ

#### 1. Giocare a nascondino con la gravità: l'importanza delle onde gravitazionali e le differenze rispetto a quelle elettromagnetiche.

Pensa al gioco del nascondino: nascondersi significa rendersi invisibili. Per farlo, basta che ci sia uno schermo tra te e chi ti cerca. Schermare la luce visibile è facile, basta un piccolo strato di materiale che non sia trasparente alle onde elettromagnetiche a cui siamo sensibili. Allo stesso modo si possono schermare anche altre lunghezze d'onda della radiazione elettromagnetica, rendendo difficile la loro rilevazione.

L'osservazione dell'Universo è sempre avvenuta captando le onde elettromagnetiche (di tutte le lunghezze, dai raggi Gamma alle onde radio). In alcuni casi queste osservazioni sono difficili o addirittura impossibili: per esempio, non si può osservare il cosmo verso il piano della nostra galassia, per via delle numerosissime stelle che fanno da schermo, così come è difficile osservare il cielo in certe zone ricche di polveri interstellari.

Rifletti sulla natura delle onde gravitazionali e rispondi alle domande seguenti:

- Ci si può nascondere dalla gravità? Si possono cioè schermare le onde gravitazionali così come si fa con quelle elettromagnetiche?
- Se si potesse schermare la gravità, si potrebbe anche fare un motore ad antigravità?

#### 2. Saltare fuori da un buco nero: capire cosa succede alla luce in un buco nero e come può essere osservata.

Se lanci una gomma verso l'alto, questa arriverà a una certa altezza e poi tornerà giù. Se la velocità iniziale con cui la spingi aumenta, anche l'altezza raggiunta dalla gomma sarà maggiore. C'è una velocità che la potrebbe far salire per sempre senza mai tornare indietro? Sì, è la "velocità di fuga". Se la spinta iniziale è di 11 chilometri al secondo, la gomma l'avrai persa per sempre. I razzi, per uscire dalla gravità terrestre vengono accelerati fino a raggiungere appunto la velocità di fuga. Per uscire dalla gravità di Marte bastano 5 chilometri al secondo e dalla Luna ne bastano 2,3. Da un asteroide, dove peseresti solamente mezzo grammo, ti basterebbe un saltello e finiresti perso nello spazio profondo.

E da un buco nero? Qual è la velocità che serve per saltare fuori da un buco nero? Essa è maggiore di 300.000 chilometri al secondo. Cioè è maggiore della velocità massima possibile, quella della luce.

Rifletti sulla gravità di un buco nero e rispondi alle domande seguenti:

- I buchi neri sono oggetti con una massa così concentrata che per fuggire da essi serve una velocità maggiore di quella della luce. Che cosa succede alla luce dentro un buco nero? Perché, secondo te, si chiama "nero"?
- Spiega perché le onde gravitazionali, a differenza di quelle elettromagnetiche, possono rilevare la presenza di un buco nero.

#### 3. Un interferometro con Excel.

Si possono simulare gli effetti di dilatazione dello spazio nella somma di due onde con un semplice foglio di calcolo. Osserva la schermata del foglio di calcolo:

Nella colonna A sono inseriti dei passi, che vanno da 0 a 20 salendo ogni volta di 0,1 (si occuperanno quindi 200 righe). Nella casella A3 è inserito il valore di Pi greco. Nella colonna C4 c'è il fattore di distorsione dello spazio: 1 significa spazio non distorto; 1,1 significa distorto del 10%, mentre 1,01 significa distorto dell'1%.

	A	B	C	D	E	F
1	EFFETTO INTERFEROMETRO					
2	Pi greco					
3	3,1415927		Distorsione			
4			1,10			
5	Passi	X Braccio 1	Y Braccio 2	Costa braccio 1	Costa braccio 2	Somma costi
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,10	0,31	0,35	0,31	-0,34	-0,03
8	0,20	0,61	0,69	0,59	-0,64	-0,05
9	0,30	0,94	1,04	0,81	-0,86	-0,05
10	0,40	1,29	1,38	0,93	-0,98	-0,05
11	0,50	1,57	1,73	1,00	-0,99	0,01
12	0,60	1,88	2,07	0,99	-0,88	0,07
13	0,70	2,20	2,42	0,81	-0,66	0,15
14	0,80	2,51	2,76	0,59	-0,37	0,22
15	0,90	2,83	3,11	0,31	-0,03	0,28
16	1,00	3,14	3,46	0,00	0,31	0,31
17	1,10	3,46	3,80	-0,31	0,61	0,30
18	1,20	3,77	4,15	-0,59	0,84	0,26
19	1,30	4,08	4,49	-0,81	0,98	0,17
20	1,40	4,40	4,84	-0,95	0,99	0,04
21	1,50	4,71	5,18	-1,00	0,89	-0,11
22	1,60	5,03	5,53	-0,95	0,68	-0,27
23	1,70	5,34	5,87	-0,81	0,40	-0,41
24	1,80	5,65	6,22	-0,59	0,06	-0,53

Ecco le formule da inserire nella prima riga (che poi vanno duplicate in tutte le righe fino alla duecentesima):

In **B6** scrivere: =A6\*\$A\$3

In **C6** scrivere: =A6\*\$A\$3\*\$C\$4

In **D6** scrivere: =SIN(B6) (oppure =SEN(B6) se il programma è in italiano)

In **E6** scrivere: =-SIN(C6) (oppure =-SEN(C6) se il programma è in italiano)

In **F6** scrivere: =E6+D6

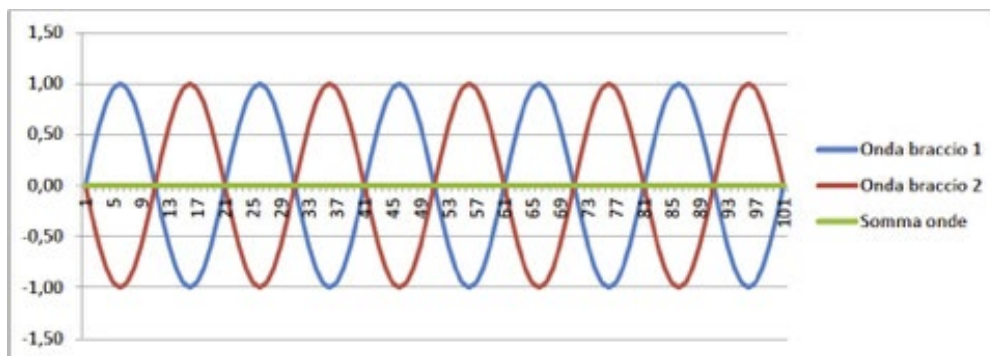
Il simbolo "\$" serve a tenere ferma la casella del Pi greco e quella del valore scelto per la distorsione spaziale, che viene posto nella casella C4.



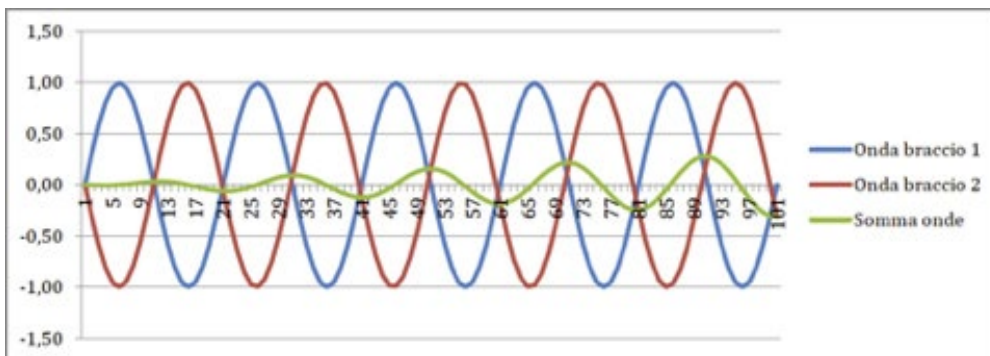
## » Scheda Didattica / **Onde gravitazionali, una grande scoperta**

La colonna B rappresenta il percorso lungo un braccio. La colonna C il percorso lungo il braccio ortogonale. Nella colonna F c'è l'opposto del seno dell'onda perché si parte da sovrapposizione in controfase: le due onde si elidono a vicenda e l'interferometro segna zero.

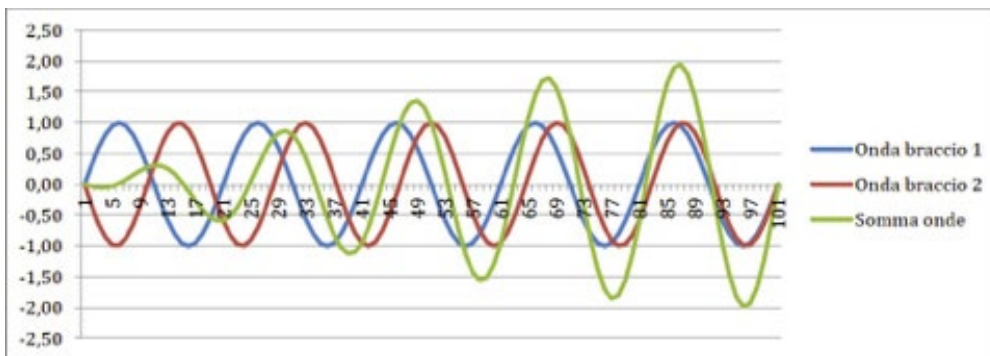
Il grafico qui sotto riporta questa situazione. Sono disegnate l'onda in colonna D (in azzurro); l'onda in colonna E (in rosso) e l'onda che si ottiene dalla loro somma, calcolata in colonna F (in verde). Il valore di distorsione è pari a 1, ovvero nessuna distorsione.



Ora ci si può divertire a cambiare il valore di distorsione per vedere come la somma delle due onde (in verde) non sia più zero, ma dia luogo a un'interferenza non distruttiva. Con 1,01 abbiamo il grafico qui sotto:



Accentuando la distorsione, con il valore 1,1 abbiamo invece il grafico qui sotto, dove le curve di interferenza sono molto più evidenti.



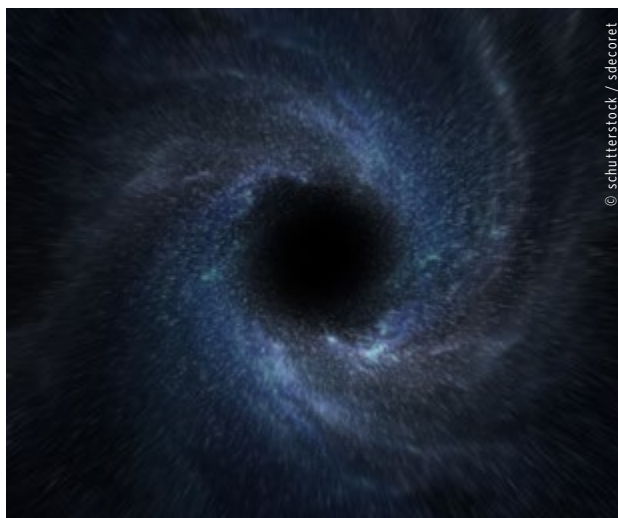
## Scheda Didattica / **Onde gravitazionali, una grande scoperta**

di **Roberto Vanzetto**

### RISPOSTE

1.
  - a. Non è possibile “nascondersi” dalla gravità, come si fa con le onde elettromagnetiche. La gravità arriva dappertutto e non esistono schermi che possano fermare la sua influenza. Se stiamo in una stanza buia, alcuni piani sotto terra, le onde elettromagnetiche non ci raggiungono più: non c'è luce e il cellulare non prende il segnale. Il nostro peso, invece, continua a esserci, perché la gravità ci “vede” ovunque noi siamo.
  - b. Sì, se esistesse uno schermo che annulla la forza gravità, sulla base di quel principio si potrebbe costruire un motore ad antigravità. Ma per ora è fantascienza.
2.
  - a. Dato che la velocità di fuga per uscire dalla gravità di un buco nero è maggiore della velocità della luce, nulla può uscire dalla gravità del buco nero: anche la luce viene catturata. Per questo motivo il buco nero si chiama “nero”. Gli effetti del buco nero però possono essere visti attraverso la radiazione delle particelle che si trovano sul bordo dell'orizzonte degli eventi.
  - b. Gli effetti gravitazionali che un buco nero causa agli altri possono essere rilevati: in questo caso, alcune caratteristiche del buco nero vengono misurate

indirettamente. Anche le onde gravitazionali permettono di “vedere” i buchi neri: quando grandi masse vengono accelerate, come quando si ha la fusione di due buchi neri, si originano onde gravitazionali che deformano lo spazio-tempo. Proprio come è stato rilevato nel 2015 e annunciato nel febbraio del 2016.



© shutterstock / sdecoret

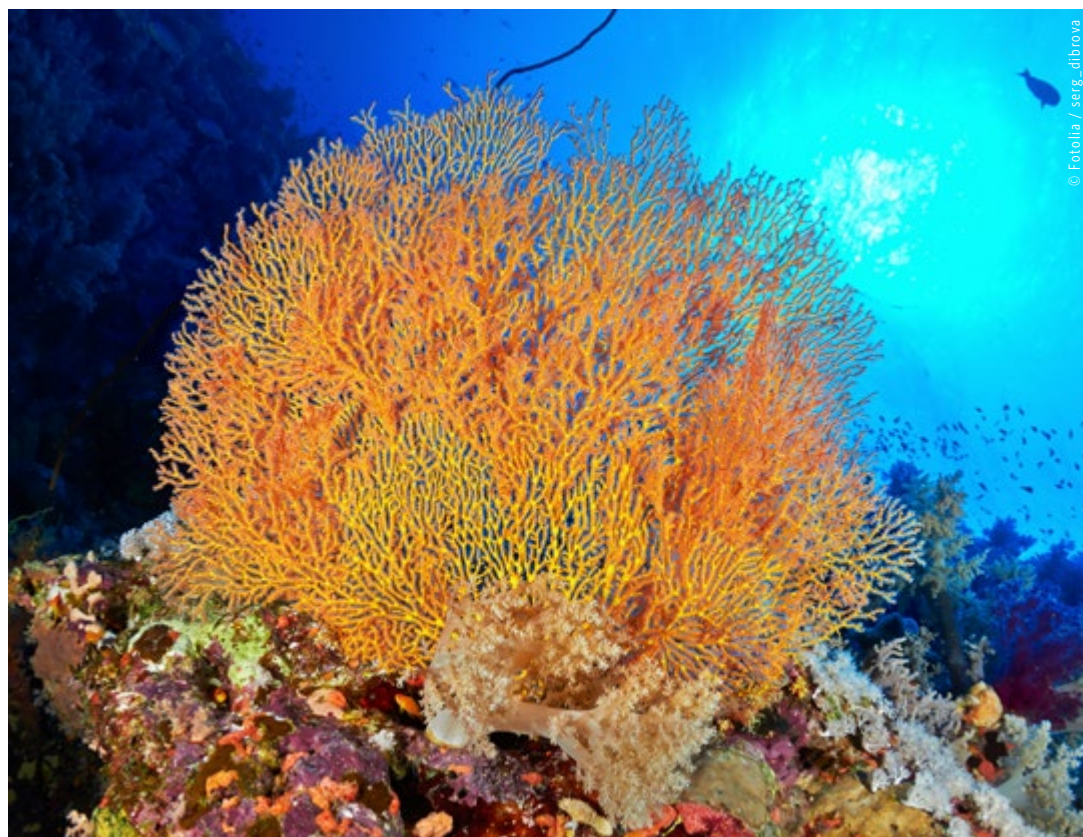
Buco nero nello spazio



# Il clima cambia, il mare pure

di **Maria Cristina Gambi**

I cambiamenti climatici hanno un grande impatto sull'ambiente marino, con profonde ripercussioni sulla sua biodiversità. E più CO<sub>2</sub> in atmosfera significa anche maggiore acidificazione delle acque: un fenomeno che è possibile studiare in un laboratorio naturale presente sull'isola di Ischia.



Gorgonia nel Mar Rosso in Egitto

**T**ra le cause principali che minacciano la biodiversità degli oceani e anche del mare Mediterraneo troviamo le modificazioni climatiche che stanno interessando il nostro pianeta. In realtà, la Terra ha già subito nel corso della sua lunga storia geologica importanti modificazioni che riguardano sia il clima sia la struttura delle terre emerse. In epoche geologiche, le modificazioni climatiche di grande ampiezza sono state il principale motore dell'evoluzione, permettendo l'adattamento o la scomparsa di specie e popolazioni, nonché di interi ecosistemi e biomi. Negli ultimi decenni, però, i cambiamenti climatici sulla superficie

del nostro pianeta si stanno presentando più intensi e frequenti, e anche su scala temporale più breve. Oggi la maggior parte degli scienziati sostiene che l'evoluzione così rapida del clima sia dovuta all'aumento in atmosfera dell'immissione di gas serra, in particolare CO<sub>2</sub>, prodotti in seguito ad attività antropiche, in particolare l'uso dei combustibili fossili. Le conseguenze di questi cambiamenti vanno dall'aumento della temperatura, con riscaldamento globale e scioglimento delle calotte polari e dei ghiacci continentali, con conseguente aumento del livello dei mari, all'aumento dei raggi UV, all'acidificazione delle acque marine.

### RISPOSTE BIOLOGICHE AL CLIMA CHE CAMBIA

Organismi ed ecosistemi reagiscono in vario modo ai cambiamenti climatici. Tra le risposte biologiche più evidenti troviamo: l'anticipazione del periodo riproduttivo di diverse specie vegetali e animali; la variazione dei tempi delle migrazioni stagionali di molti organismi; la variazione nella distribuzione delle specie, con specie tipiche di aree temperate-tropicali che si diffondono verso latitudini più elevate; la comparsa di specie aliene, estranee a fauna e flora locali di determinate aree geografiche, insieme a quella di nuovi parassiti e organismi patogeni (anche per l'uomo); l'estinzione locale di intere popolazioni o di specie, con alterazioni nella struttura e nel funzionamento di interi ecosistemi.

Come si vede, queste modificazioni interessano la diversità biologica dall'individuo all'ecosistema: esse possono minacciare direttamente la distribuzione, l'abbondanza, il comportamento, la morfologia e la genetica delle specie. Inoltre, possono agire indirettamente aumentando la competizione, la predazione, il parassitismo e favorendo le perturbazioni dell'habitat. Esse aggravano anche problemi già esistenti come quello delle specie invasive e dell'urbanizzazione massiva, soprattutto delle coste.

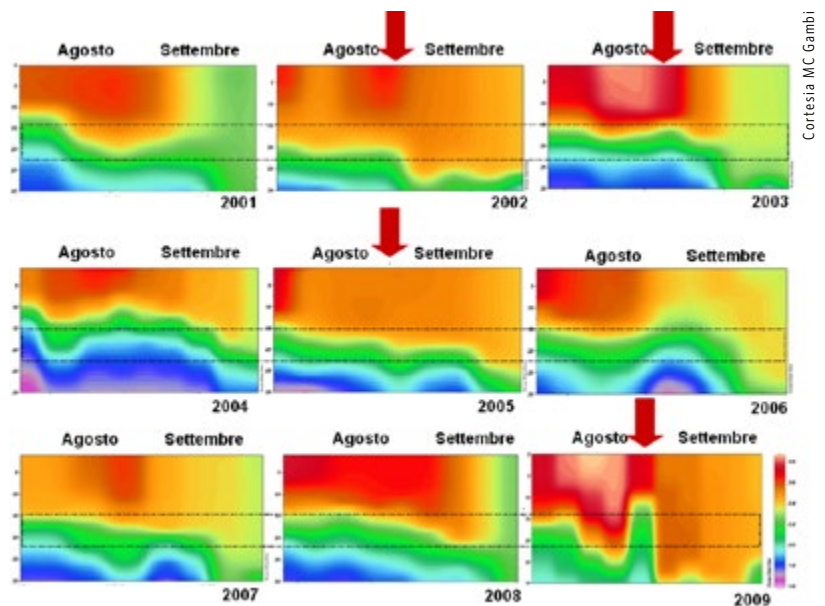
### GLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO IN AMBIENTE MARINO

Anche in ambiente marino si possono osservare gli effetti del cambiamento climatico sulla biodiversità e su altri fenomeni di comunità e di habitat. Tra questi ricordiamo le onde di calore estive, l'espansione di specie termofile, cioè con affinità per il caldo, l'invasione di specie aliene tropicali, e l'acidificazione marina, studiata in Italia in particolari osservatori naturali, cioè in sistemi di emissione sommersa di CO<sub>2</sub> presenti in alcune aree costiere di origine vulcanica.

### ONDE DI CALORE E MORTALITÀ DI MASSA

Un fenomeno sempre più evidente nei nostri mari è l'aumento delle temperature superficiali massime estive dell'acqua, con vere e proprie anomalie termiche tardo-estive che provocano un abbassamento in profondità del termocline stagionale, cioè la zona di discontinuità termica tra le acque calde superficiali e quelle profonde più fredde. Si parla per queste anomalie di onde di calore (*heat-waves*), rilevate con una notevole intensità nel 1999, nel 2003 e nel 2009 soprattutto nel Mar Ligure e nel Mediterraneo nord-occidentale. In concomitanza con le onde di calore sono stati osservati fenomeni di mortalità di

massa di diversi invertebrati marini, quali spugne, ascidie, antozoi, bivalvi, e soprattutto gorgonie (ventagli di mare) che sono tra gli organismi più vulnerabili alle temperature elevate. Solo lungo le coste campane sono stati rilevati ben 4 episodi di onde di calore tra il 2002 e il 2009, con relativi episodi di mortalità estesa che hanno portato a estinzione locale le popolazioni di alcune specie di gorgonie.



Temperatura del mare nel Golfo di Napoli.

Le frecce indicano le onde di calore, la linea tratteggiata la profondità alla quale si sviluppano le gorgonie

### UN MARE SEMPRE PIÙ TROPICALE

Ma non sono solo le temperature superficiali estive delle acque a crescere: salgono anche quelle minime invernali. Le coste settentrionali della Campania, in particolare nell'area tra le isole Flegree (Ischia, Procida e Vivara) e le Pontine (Ventotene e Ponza), rappresentavano fino a circa 30 anni fa un "confine geografico-climatico" nel Tirreno centrale, cioè una zona in cui molte specie fermavano la propria distribuzione ed erano sostituite da altre specie adattate a condizioni climatiche differenti.

Il confine climatico del Tirreno centrale dipende dal fatto che proprio in quest'area si collocava l'isoterma (cioè la linea che unisce i punti a eguale temperatura marina superficiale) minima invernale di temperatura dei 14 °C. Questo confine adesso sembra spostato più a nord, e in effetti in quest'area la temperatura minima invernale tende a non scendere al di sotto dei 15 °C.

Lo spostamento del confine provoca a sua volta lo spostamento verso nord di specie termofile che

prima erano confinate nelle zone meridionali del Mediterraneo. Qualche esempio: il madreporario arancione *Astroides calycularis*, i molluschi *Echinolittorina punctata* e *Stramonita hamastoma* (da cui si estrae la porpora), e varie specie di pesci, come il barracuda mediterraneo o la donzella pavonina. Non solo: anche specie provenienti da aree tropicali contigue al Mediterraneo – per esempio il pesce pappagallo atlantico – riescono ora a insediarsi nel “nostro” mare, dove arrivano utilizzando vie “naturali” di passaggio quali lo stretto di Gibilterra. Contemporaneamente assistiamo all’invasione del Mediterraneo da parte di specie aliene di origine tropicale che sono state introdotte con vettori artificiali mediati dall’uomo, per esempio dal Mar Rosso attraverso il canale di Suez (migrazione lessepsiana).

Al momento, oltre 150 specie tra piante acquatiche, invertebrati e pesci sono considerate non-indigene per le coste italiane, e oltre 450 per il Mediterraneo in generale. La maggior parte di queste sono ad affinità tropicale e aumentano di anno in anno. Tale fenomeno, definito tropicalizzazione del Mediterraneo, sta alterando la biodiversità, la biogeografia e l’ecologia complessiva del bacino del *Mare Nostrum*. Il recente (ottobre 2015) raddoppio del Canale di Suez e del conseguente traffico navale rappresenta un potenziale rischio di ulteriore flusso di alieni nei nostri mari.

#### ACQUE ACIDE

Più CO<sub>2</sub> in atmosfera non significa solo riscaldamento globale. In ambito marino, l’altra faccia del problema è rappresentato dall’acidificazione delle acque. In effetti, uno dei siti di accumulo della produzione antropica di CO<sub>2</sub> è proprio l’ambiente marino, dove questo gas si dissolve per formare acido carbonico e ioni liberi H<sup>+</sup>. Sebbene l’acqua di mare tamponi questo processo chimico, l’acidità dell’ambiente marino sta aumentando, con un incremento del 30% di H<sup>+</sup> – pari a un abbassamento di 0,1 unità del pH – dall’era industriale a oggi (il pH normale medio delle acque marine è tra 8,2 e 8,1). Questo fenomeno è conosciuto come acidificazione degli oceani. È stato stimato che se l’uso di combustibili fossili continuerà con i ritmi attuali, entro il 2100 l’abbassamento del pH nell’ambiente marino sarà addirittura di 0,3-0,4 unità. Considerando che il pH rappresenta il logaritmo negativo della concentrazione degli ioni H<sup>+</sup>, la variazione anche di pochi decimi di unità presuppone livelli preoccupanti di acidificazione rispetto ai livelli normali del mare.

#### ISCHIA, LABORATORIO NATURALE PER LO STUDIO DELL’ACIDIFICAZIONE MARINA

L’acidificazione rappresenta un ulteriore rischio e fattore di stress per l’ambiente marino, minacciando specie ed ecosistemi, soprattutto quelli costituiti da organismi a guscio o scheletro calcareo, come coralli, banchi di molluschi e biocostruttori calcarei in genere. Per valutare gli effetti a medio e lungo termine dell’acidificazione marina si può studiare il fenomeno all’interno di veri e propri laboratori naturali rappresentati da aree di origine vulcanica in cui si producono emissioni sommerse di CO<sub>2</sub>. Uno di questi siti si trova proprio in Italia, sull’isola d’Ischia, ben conosciuta fino dall’antichità per la sua origine vulcanica e l’attività vulcanica e tettonica ancora oggi in corso è testimoniata dalle famose acque e fanghi termali e dalla presenza di fumarole emerse e sommerse. L’isolotto del Castello aragonese, lungo la costa nord-orientale di Ischia, rappresenta un edificio vulcanico che è attualmente collegato all’isola da una strada; nelle acque del fondale attorno all’isolotto si osserva, fino a 3 metri di profondità, un fenomeno unico nel suo genere: una continua e intensa emissione di gas composto per il 95% da diossido di carbonio, senza tracce di gas tossici (solfuri o metano), che fuoriesce alla stessa temperatura delle acque circostanti. Infatti, tra l’isolotto e le coste dell’isola maggiore è presente una frattura della crosta terrestre (faglia) che permette al gas accumulato dall’attività vulcanica sotterranea di fuoriuscire.

Il sito del Castello, una finestra unica sul futuro degli oceani che ci permette oggi di osservare e capire/prevedere gli effetti a lungo termine dell’acidificazione marina su organismi e habitat/ecosistemi.



Cortesia MC Gambi

Il Castello aragonese di Ischia



### VIVERE IN CONDIZIONI DI MAGGIORE ACIDITÀ

Il diossido di carbonio emesso provoca un'acidificazione naturale delle acque marine, cioè un abbassamento del pH che dai valori normali per le acque mediterranee pari a 8,12 rilevati nelle zone lontane dalle emissioni, si abbassa fino a valori al di sotto di 7,3 nelle zone a maggiore emissione di bolle: valori, questi ultimi, che sono critici per molti organismi. Nelle aree di emissione ridotta si osservano invece valori di debole acidità (7,8), simili a quelli predetti per la fine di questo secolo. L'acidificazione marina provoca un forte stress per molti organismi marini, dovuto ai costi energetici per la regolazione degli equilibri acido-base in cellule e tessuti, o ai processi di calcificazione per gli organismi che hanno strutture calcaree. Nelle aree acidificate si osserva quindi una forte selezione tra gli organismi marini, con molti "perdenti" e pochi "vincitori", organismi cioè più tolleranti e in grado di vivere a condizioni di acidificazione anche elevata, al punto che nelle aree più acidificate (pH < 7,4) rimane soltanto il 25% circa delle specie presenti nelle zone a pH normale. Tra i perdenti troviamo la maggior parte delle specie che presentano strutture calcaree, quali molluschi, echinodermi, policheti tubicoli calcarei, e briozoi. Tra i "vincitori", dominano alcune macroalghe e la pianta marina *Posidonia oceanica*, per cui la CO<sub>2</sub> rappresenta una delle specie chimiche che entra nel processo della fotosintesi, e quindi ne favorisce la crescita. Le specie algali dominanti appartengono ad alghe brune



© K. Kroeker

Zona di massima emissione di CO<sub>2</sub> al Castello aragonese, con dense coperture dell'alga *Caulerpa prolifera*

(es. *Dictyota*, *Halopteris*, *Sargassum*), verdi (*Caulerpa*, *Cladophora*) e rosse (*Hildebrandia*, *Asparagopsis*). Alle macrofite sono associati numerosi piccoli invertebrati, soprattutto vermi policheti, piccoli crostacei (peracaridi) e molluschi. Tra gli animali di dimensioni più grandi e che possono tollerare modesti livelli di acidificazione (pH 7,7-7,8) sono comuni i ricci di mare, i denti di cane (balani) e le patelle, anche se queste ultime presentano evidenti segni di erosione della conchiglia dovuto alle condizioni del basso pH. Tra i pesci, l'erbivora salpa costituisce banchi di numerosi individui che brucano sul denso manto fogliare di *Posidonia* nelle aree più acidificate. ●

#### PAROLE CHIAVE

##### BIOMA

Insieme di ecosistemi distribuito su un'ampia area geografica, identificata in base alle condizioni climatiche e al tipo di vegetazione dominante.

##### ECOSISTEMA

Comunità di organismi, considerata insieme all'ambiente fisico-chimico con il quale interagiscono.

##### SPECIE ALIENA

Specie animale o vegetale la cui introduzione al di fuori del proprio habitat naturale è mediata in modo deliberato o accidentale dall'uomo. È anche detta specie alloctona; e può avere un carattere invasivo.

##### SPECIE TERMOFILO

Specie animale o vegetale adattata a vivere in ambienti caldi.

##### TERMOCLINO STAGIONALE

Zona lungo la colonna d'acqua caratterizzata da un brusco cambiamento dei valori della temperatura. Si forma in estate per il forte riscaldamento dello strato più superficiale del mare.

#### PER APPROFONDIRE

- Gambi M.C., *L'isola d'Ischia: un osservatorio speciale per lo studio del cambiamento climatico globale a mare*, in "Ischia Patrimonio dell'Umanità. Natura e cultura", Doppiovoce Editore, Napoli 2014.
- Gambi M.C., *Emissioni sommerse di CO<sub>2</sub> lungo le coste dell'isola d'Ischia. Rilievi su altre aree come possibili laboratori naturali per lo studio dell'acidificazione e cambiamento climatico a mare*, Notiziario Sibm, 2014, vol. 66, pp. 67-79. [link.pearson.it/953359EB](http://link.pearson.it/953359EB)
- Occhipinti, Ambrogi *et al.*, *Alien species along the Italian coasts: an overview*, in "Biological Invasions", 2011, vol. 13, pp. 215-237.

#### Maria Cristina Gambi

è laureata in scienze biologiche ed è primo ricercatore alla Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli. Si occupa di vari temi di ricerca, tra i quali sistematica, evoluzione ed ecologia dei vermi policheti, interazione tra vegetali e invertebrati, ed effetto del cambiamento climatico sul biota bentonico.



## Scheda Didattica / Il clima cambia, il mare pure

di **Antonio Varaldo**

### DOMANDE E ATTIVITÀ

**1.** Sulla Terra il clima varia a seguito di fenomeni naturali, ma anche per effetto di azioni antropiche; nell'ultimo secolo queste ultime sono state notevoli e così si sta verificando un rapido cambiamento climatico globale. Dopo aver letto l'articolo ed esserti documentato sui libri di testo, completa il brano seguente scegliendo i termini appropriati tra quelli elencati:

*naturale - inclinazione - CO<sub>2</sub> - secolari - declinazione - O<sub>3</sub> - solare - millenari*

*Il clima terrestre ha una sua variabilità..... legata anzitutto a fenomeni astronomici che si verificano con cicli..... non sincroni: il moto doppio-conico e le variazioni di eccentricità dell'orbita terrestre e di..... dell'asse di rotazione; a ciò si aggiunge l'irregolarità dell'attività ....., evidenziata dal numero variabile di macchie. La fase interglaciale attuale è stata fortemente accentuata dall'uomo a seguito della massiccia immissione di..... in atmosfera.*

**2.** Che cos'è l'effetto serra?

**3.** Quali sono i tre gas serra più incisivi?

**8.** Gli organismi marini che risentono negativamente dell'acidificazione delle acque sono di vario tipo e in gran parte appartengono all'ampio gruppo degli animali invertebrati. Dopo aver cercato le relative informazioni sul web, completa la tabella seguente, riguardante alcuni degli organismi citati nell'articolo.

**4.** Perché la combustione di riserve fossili ha avuto effetti così devastanti sul clima della Terra?

**5.** Qual è il nome delle scimmie che rimasero isolate in Madagascar? E quali sono i loro caratteri distintivi?

**6.** Completa la seguente equazione chimica relativa all'acidificazione dell'acqua scrivendo sotto le formule i nomi delle varie specie chimiche coinvolte:



**7.** Il tema trattato nell'articolo va inserito nel più generale ambito dell'ecologia, disciplina che studia la dinamica degli ecosistemi e gli effetti prodotti su di essi dalle azioni esterne. Raccogliendo le informazioni utili su testi o siti web che ritieni appropriati, scrivi una sintetica definizione - arricchita però da qualche esempio - per ciascuno dei seguenti termini utilizzati dagli ecologi e che hai trovato nel testo:

- a. termoclino;
- b. bioma;
- c. areale;
- d. termofilo.

	GRUPPO DI APPARTENENZA (PHYLUM O SUBPHYLUM)	CARATTERISTICHE MORFO-FISIOLOGICHE	CARATTERISTICHE
Spugne			
Ascidie			
Antozoi			
Bivalvi			



## Scheda Didattica / Il clima cambia, il mare pure

di **Antonio Varaldo**

### RISPOSTE

1. Naturale; millenari; inclinazione; solare; CO<sub>2</sub>.
2. L'assorbimento della radiazione infrarossa in uscita dalla Terra a opera di gas atmosferici.
3. Il vapore acqueo, l'anidride carbonica e il metano.
4. Perché ha immesso in atmosfera enormi quantitativi di CO<sub>2</sub> che da tempi remoti erano "intrappolati" nella crosta.
5. Deforestazione massiccia, allevamenti intensivi.
6. Diossido di carbonio + acqua - acido carbonico - ione idrogeno + ione bicarbonato.
7.
  - a. È lo strato di acque marine in cui si verifica un notevole raffreddamento con l'aumento della profondità; infatti fino a una certa profondità l'acqua risente dell'irraggiamento solare e del rimescolamento operato da onde e correnti, mentre al di sotto (appunto nel termoclino) la temperatura diminuisce fino a pochi gradi centigradi.
  - b. In ogni clima, è la tipica associazione vegetale che si è stabilizzata in un'area, poiché adattatasi al regime pluviometrico e al ciclo delle temperature stagionali; esempi tipici sono il bioma della savana, quello della taiga o quello della foresta equatoriale; la differenza rispetto al termine ecosistema sta nel fatto che quest'ultimo include l'intera comunità dei viventi, anche animali e microrganismi, ed è in continua evoluzione dinamica a tutti i livelli.
  - c. È l'area geografica colonizzata da un certo gruppo di organismi, come una specie o un raggruppamento superiore (genere, famiglia); è un parametro che va messo in relazione con la storia evolutiva sia dal punto di vista paleogeografico sia dal punto di vista climatico: si pensi, per esempio, rispettivamente ai lemuri del Madagascar e alla lepre artica.
  - d. Organismo che vive esclusivamente in ambienti ad alta temperatura, o addirittura a temperature estreme. Sono termofile per esempio varie specie di batteri che vivono in prossimità delle bocche vulcaniche sottomarine e delle sorgenti termali.

	GRUPPO DI APPARTENENZA (PHYLUM O SUBPHYLUM)	CARATTERISTICHE MORFO-FISIOLOGICHE	SPECIE TIPICHE
Spugne	Phylum <i>Porifera</i>	Animali bentonici dotati di un'unica cavità interna detta spongocele	<i>Spongia officinalis</i>
Ascidie	Subphylum <i>Tunicata</i> (Phylum <i>Cordata</i> )	Animali sessili con larve mobili, hanno una notocorda e una cavità regolata da sifoni	<i>Ascidia mentula</i>
Antozoi	Phylum <i>Cnidaria</i>	Il nome significa fiore-animale; sono polipi solitari o in colonie, spesso costruttori di esoscheletri calcarei	<i>Actinia equina</i> <i>Corallium rubrum</i>
Bivalvi	Phylum <i>Mollusca</i>	Tendenzialmente bentonici con apparati interni in un corpo molle racchiuso in due conchiglie dette valve	<i>Mytilus galloprovincialis</i>



# Studenti nel bosco

di **Adele Riccetti** e **Giuseppe De Ninno**

Nella cornice di OrvietoScienza, appuntamento annuale dedicato ai rapporti tra scienza, scuola e società, un laboratorio ha permesso ad alcuni studenti di quantificare in prima persona il carbonio stoccato in un bosco. Un lavoro concreto, per arrivare a riflettere sul tema dell'uso delle foreste come fattori di mitigazione per il riscaldamento globale.



© Fotolia/magicphotography

Un bosco di pino nero

È giunta ormai al quarto anno l'iniziativa di OrvietoScienza ([link.pearson.it/C7C2B28C](http://link.pearson.it/C7C2B28C)), che per due giorni fa incontrare nella città di Orvieto scienziati di tutta Italia e studenti del territorio per approfondire un tema di attualità e di rilevanza per la società. Il modello ormai consolidato di organizzazione di questa iniziativa ruota intorno agli studenti, che per quattro mesi lavorano insieme a ricercatori portando avanti laboratori didattici elettivi. Quest'anno il tema

scelto era quello del cambiamento climatico, e tra i partner che hanno sostenuto questa edizione abbiamo avuto i ricercatori dell'Istituto di biologia agroambientale e forestale del CNR ([link.pearson.it/A7053B69](http://link.pearson.it/A7053B69)). Molti e interessanti i laboratori offerti ([link.pearson.it/D0020BFF](http://link.pearson.it/D0020BFF)): analisi della relazione tra stress idrico e attività fotosintetica, uso di strumenti open source per l'analisi di dati climatici degli ultimi 70 anni, uso di particolari sensori per le misure ambientali.

In questo articolo descriviamo un laboratorio che ci sembra facilmente riproducibile e che abbiamo chiamato Land use, relativo all'uso delle foreste come fattori di mitigazione per il riscaldamento globale. In particolare, l'esperienza ha riguardato la quantificazione del carbonio stoccato in un bosco dell'orvietano e la sua capacità di sequestro della CO<sub>2</sub> dall'atmosfera. Gli studenti partecipanti – sette alunni di classe quarta del liceo Majorana di Orvieto – sono stati supportati durante tutto il percorso di studio dal dottor Bruno De Cinti del CNR-IBAF.

### PRIMO PASSO: IL CICLO DEL CARBONIO

Con una lezione introduttiva in classe si è inquadrato l'aspetto dell'effetto serra e il ruolo che gli ecosistemi e soprattutto il bosco hanno nella cattura di CO<sub>2</sub> atmosferico. In particolare è stato approfondito il ciclo del carbonio, cioè il ciclo biogeochimico attraverso il quale il carbonio è scambiato tra geosfera, idrosfera, biosfera e atmosfera: un punto di partenza che permette di avere una visione generale e unitaria di come questo elemento chimico sia presente in tutti questi serbatoi, organici e inorganici.

Gli organismi autotrofi terrestri e marini producono le loro molecole organiche a partire dal diossido di carbonio tratto dall'aria o dall'acqua in cui vivono e sfruttando la radiazione solare. Gli autotrofi più importanti per il ciclo del carbonio sono gli alberi delle foreste sulla terraferma e il fitoplancton negli oceani. Attraverso la loro azione, il carbonio viene organicato, per mezzo del ciclo di Calvin, ed entra a far parte della biosfera, passando poi nella catena alimentare. Attraverso la respirazione, il carbonio lascia la biosfera e ritorna nell'atmosfera o nell'acqua.

Nel corso della lezione introduttiva sono stati accennati anche i principali effetti ambientali del cambiamento climatico in corso, dalla limitazione della capacità degli oceani di assorbire il carbonio dall'atmosfera su scala regionale alla riduzione della biodiversità, alla diminuzione dei ghiacci polari con progressivo aumento del livello dell'acqua lungo le coste.

### GLI OBIETTIVI DEL LAVORO

Definito, anche se sinteticamente, il quadro generale, sono stati posti gli obiettivi per il lavoro da eseguire, attraverso una serie di domande. A questo punto gli studenti, con l'aiuto dei ricercatori, hanno scelto un bosco significativo del territorio, ricco di esemplari di pino nero (*Pinus nigra*) e cerro (*Quercus cerris*), e hanno selezionato due aree di campionamento. Gli strumenti



Carotaggi e strumenti di misurazione per un approccio scientifico allo studio del bosco in rapporto al riscaldamento globale

utilizzati per le analisi sul campo sono stati il succhiello di Pressler, praticamente un carotatore, un calibro dendrometrico e un ipsometro per misurare il diametro e l'altezza dei fusti.

### IL LAVORO SUL CAMPO...

Una volta nel bosco, gli studenti hanno scelto un'area di saggio circolare, con diametro di 26 metri, in una zona rivestita di pini e un'area analoga in una zona di cerri. Per ogni area sono stati scelti quattro alberi sui quali sono stati effettuati sia le misure dell'altezza con un distanziometro a ultrasuoni e del diametro all'altezza del petto di un uomo con un calibro, sia carotaggi del tronco con il succhiello di Pressler.

### ... E IN CLASSE

Lasciato il bosco, gli studenti hanno iniziato a lavorare sui dati raccolti con l'aiuto di un foglio di calcolo. Per ognuna delle due specie che sono state considerate si è fatto il fit dei dati con la curva ipsometrica, un modello matematico che lega l'altezza dell'albero al suo diametro a petto d'uomo.



Il succhiello di Pressler

Attraverso le tavole di cubatura, conosciuti altezza e diametro si è potuto avere il volume dell'albero, comprendente fusto e rami grossi. Dal volume, conosciuto il valore di densità propria di ogni specie, si risale alla massa ( $m=dV$ ) e da questa si arriva al quantitativo di carbonio stoccato che rappresenta il 50% della massa stessa (peso secco). Mettendo poi su un piano cartesiano la quantità di carbonio stoccata e il tempo in anni, si ottiene l'andamento nel tempo di questo valore.

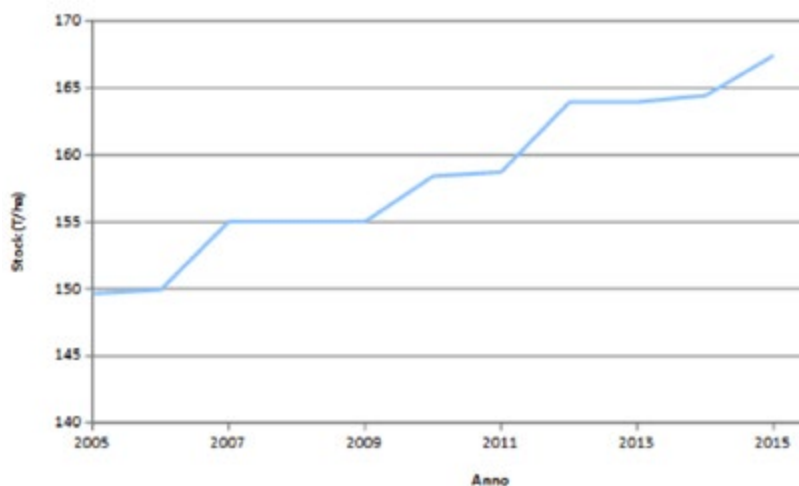
Il carotaggio è servito a capire quanto ogni albero si era accresciuto anno dopo anno, con il conseguente cambiamento di volume e di contenuto di carbonio, attraverso l'analisi degli anelli di accrescimento.

### UN COMPITO AUTENTICO

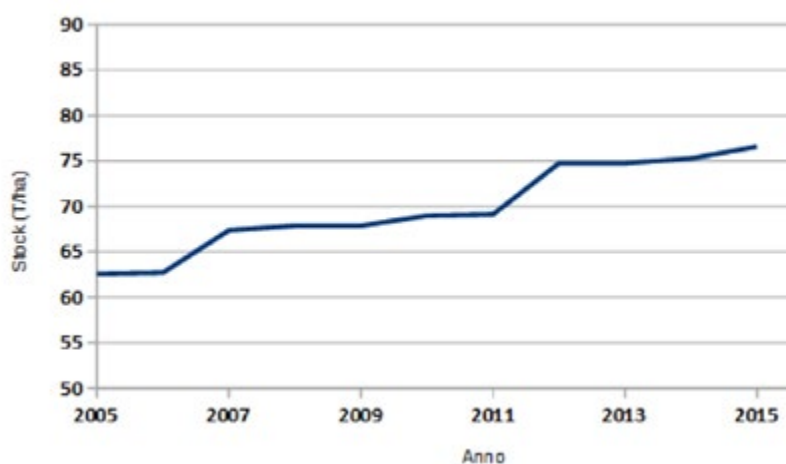
Con questo lavoro si è cercato di rispondere alle domande che inizialmente erano state poste come obiettivi, avendo in mano dati reali, raccolti ed elaborati dagli studenti stessi. È stato possibile approcciare in modo quantitativo il processo di stoccaggio di  $CO_2$  partendo dal calcolo della massa secca degli alberi, dei quali erano stati misurati diametro, anelli di accrescimento e altezza.

In questo modo, gli studenti hanno potuto raggiungere una maggiore consapevolezza dell'argomento trattato, lavorando e studiando in modo significativo e conquistando così una comprensione profonda generatrice di competenze.

Questo lavoro ha rappresentato un compito autentico, reale, che si è sviluppato su obiettivi chiari che sono stati raggiunti. Gli studenti hanno osservato, analizzato, trovato relazioni, formulato ipotesi, svolto indagini, modellizzato e infine comunicato a una platea di compagni e di scienziati durante i lavori di OrvietoScienza. Forse è bello e opportuno concludere queste poche righe, che hanno raccontato una bella esperienza, con il pensiero con il quale gli stessi studenti hanno concluso la loro presentazione il 26 febbraio scorso: "Nella realtà di un pianeta i cui equilibri sembrano vacillare sempre più, a causa delle nostre attività, la salvaguardia delle foreste non è più solo biofilia, ma ha un aspetto funzionale alla sopravvivenza dell'umanità che non si può trascurare". Ci piace pensare che queste parole siano il risultato di una comprensione profonda che questi sette studenti hanno conquistato andando una mattina nel bosco e ponendosi domande alle quali hanno cercato di dare risposta con il metodo della scienza. ●



Andamento dello stock di carbonio in rami e fusto di *Pinus Nigra*



Andamento dello stock di carbonio in rami e fusto di *Quercus Cerris*

#### Adele Riccetti

è stata biologa in un laboratorio di scienze biomediche e ora insegna scienze naturali al Liceo Majorana di Orvieto. Da insegnante, ha coordinato reti di istituti in sperimentazioni nazionali relative all'innovazione didattica.



#### Giuseppe De Ninno

insegna fisica e matematica al Liceo Majorana di Orvieto. È fisico e ha lavorato ai Laboratori Nazionali di Frascati e al CERN.





# Why roses are red and violets are blue

by **Chiara Ceci**

It is springtime and wherever you look you will see flowers in a **dazzling** array of colours. It is that time of year when we can admire flowers **blooming** in many beautiful colours. Although it seems like a magical event, there is actually a lot of interesting science behind the scenes.

Flower colour depends on the presence of organic pigments, found in structures such as chloroplasts and chromoplasts, and what we observe is the result of the absorption and reflection of light from the various plant pigments. The most well known pigment is probably chlorophyll, which is green and present in the leaves of plants, and has little to do with flower colour. The two major classes of pigments in flowers are, in fact, carotenoids and flavonoids.

Carotenoids are pigments that produce a **breath-taking** variety of red-to-yellow colours as they absorb violet to green light (**wavelengths** ranging from 400-550 nanometers). There are hundreds of known carotenoids, all based on the same core structure. Some carotenoids contain oxygen (xanthophylls), whereas others are exclusively hydrocarbons and do not contain oxygen (carotenes).

Flavonoids represent the other important plant pigment group responsible for flower coloration. The name is derived from the Latin word flavus meaning yellow and, while they are often responsible for this colour, they can also produce other **hues**. There are thousands of naturally-occurring flavonoids, all variations of the same core structure. The most common class of flavonoids are the anthocyanins. In flowers, these pigments are stored in the vacuoles of petal cells and their colours range from red to purple, and even blue. Many anthocyanins absorb light at different wavelengths (i.e. change colour) depending on the pH of the surrounding medium – this phenomenon is called a **bathochromic shift**. This change in colour is reversible: as the pH changes from acidic to basic, the pigment colour alters from red to purple to blue. A good example of this can be seen if you add vinegar (an acid) to red cabbage.

As most gardeners know, it is sometimes possible to change the colours of flowers. Hydrangeas change

colour, depending on soil pH; in alkaline soils the flowers are pink, however we can turn them blue by increasing the soil acidity (by adding organic materials such as coffee grains or citrus peel). For hydrangeas, soil acidity affects the concentration of aluminium ions in the soil. An increase in aluminium ions results in an increase in levels absorbed by the plant roots. Following uptake, the aluminium ions form a coloured complex.

Floral pigments play an important role in pollination of flowers by animals. Such bright colouration helps to attract birds, bees and other insects that help plant reproduction.

There is more to the story than we think: some pigments absorb light in parts of the spectrum that are invisible to the human eye. As a result, some flower patterns are only visible to animals that can see UV light. These patterns are called nectar guides and are used by a pollinator insect to locate the flower's nectar.

## VOCABULARY

### Dazzling

Stupefacente, affascinante

### To bloom

Sbocciare

### Breath-taking

Mozzafiato, straordinario

### Wavelength

Lunghezza d'onda

### Hue

Sfumatura, tonalità

### Bathochromatic shift

Spostamento, batocromico



© 123RF S

Red Roses

## AUDIO VERSION

by **Louise Jane Gourlay**

▪ Listen at: [link.pearson.it/E234697D](http://link.pearson.it/E234697D)

## Chiara Ceci

è naturalista, appassionata di evoluzione (ha scritto una biografia della moglie di Charles Darwin, Emma Wedgwood Darwin) e si occupa di comunicazione della scienza. Lavora nel Regno Unito, nell'ufficio stampa della Royal Society for the Protection of Birds.



## Scheda Didattica / **Why roses are red and violets are blue**

by **Chiara Ceci**

### READING & COMPREHENSION

#### Answer the question

1. Why are flowers coloured?
2. What are the two major classes of flower pigments?
3. What does the term bathochromatic shift describe?
4. Why are flowers colourful and have UV nectar guide patterns?
5. How is it possible to change colour of hydrangeas?

#### True or False

6. Chlorophyll is the pigment responsible for all colours in plants and flowers.
7. At low pH, anthocyanins produce the colour blue.
8. At low pH, anthocyanins produce the colour red.
9. Flower colouration plays a role in plant reproduction.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### Build the correct phrase using the following terms

10. variety are colours that pigments produce breathtaking carotenoids a red-to-yellow of.
11. large a in animals pollination floral flowers pigments role of by play.
12. change as gardeners most the colours sometimes it is to possible flowers of know.

#### Find out the meaning of the following expressions

13. To be green with envy.
14. To have green fingers.
15. Out of the blue.
16. With flying colours.

## Scheda Didattica / EXERCISE YOUR ENGLISH

### TRADUZIONE

### Perché le rose sono rosse e le viole blu

È primavera e ovunque guardiamo possiamo vedere fiori con una stupefacente varietà di colori. È proprio questo infatti il periodo dell'anno in cui i fiori sbocciano e abbiamo l'opportunità di ammirare le loro numerose colorazioni. Anche se può sembrare qualcosa di magico, dietro questo spettacolo ci sono vari aspetti scientifici interessanti. Il colore dei fiori dipende dalla presenza di pigmenti organici che si trovano in strutture come cloroplasti e cromoplasti; ciò che osserviamo è il risultato dell'assorbimento e della riflessione della luce da parte dei diversi pigmenti delle piante. Il pigmento più noto è probabilmente la clorofilla che è verde e si trova nelle foglie ma ha poca influenza sul colore dei fiori. Le due classi principali di pigmenti dei fiori sono infatti carotenoidi e flavonoidi. I carotenoidi sono pigmenti che producono una varietà straordinaria di colori che vanno dal rosso al giallo e dipendono dall'assorbimento della luce dal violetto al verde (le lunghezze d'onda comprese tra 400 e 550 nanometri). Esistono centinaia di carotenoidi, tutti basati sulla stessa struttura fondamentale. Alcuni carotenoidi contengono ossigeno (xantofille), mentre altri sono soltanto idrocarburi privi di ossigeno (carotenoidi veri e propri). I flavonoidi costituiscono il secondo più importante gruppo di pigmenti responsabili della colorazione dei fiori. Il termine deriva dalla parola latina *flavus*, che significa giallo ma, nonostante spesso producano questo colore, possono anche dare origine ad altre tonalità. In natura esistono migliaia di flavonoidi, che sono tutte variazioni della stessa struttura fondamentale. La classe più comune di flavonoidi è quella delle antocianine. Questi pigmenti si trovano nei vacuoli delle cellule dei petali

dei fiori e il loro colore varia dal rosso al viola e perfino al blu. Molte antocianine assorbono la luce con lunghezza d'onda differente (cioè di colore diverso) in base al pH dell'ambiente circostante; il fenomeno è noto come spostamento batocromico. Questo cambiamento è reversibile: quando il pH si modifica passando da acido a basico, anche il colore del pigmento cambia passando dal rosso, al viola e al blu. Un buon esempio del fenomeno può essere osservato aggiungendo aceto (un acido) al cavolo rosso. Come sa bene la maggior parte dei giardinieri, qualche volta è possibile modificare il colore dei fiori. Le ortensie cambiano colore in base al pH del suolo: nei suoli alcalini i fiori sono rosa, mentre possiamo farli diventare blu aumentando l'acidità del terreno (aggiungendo cioè sostanza organica, come chicchi di caffè o bucce di limone). Nel caso delle ortensie, l'acidità del suolo influenza la concentrazione di ioni alluminio. Un incremento di ioni alluminio ha come risultato un aumento dei livelli di questi ioni assorbiti dalle radici della pianta. In seguito all'assorbimento, gli ioni alluminio formano un complesso colorato. I pigmenti dei fiori svolgono un ruolo importante nell'impollinazione da parte degli animali. Colorazioni così vivaci contribuiscono ad attirare gli uccelli, le api e altri insetti che aiutano le piante a riprodursi. In questo processo l'importanza dei pigmenti è maggiore di quello che pensiamo: alcuni pigmenti infatti assorbono la luce corrispondente a parti dello spettro luminoso non visibili dall'occhio umano. Di conseguenza, alcuni disegni dei fiori possono essere riconosciuti soltanto dagli animali che vedono la luce ultravioletta. Questi disegni sono indicati come guide nettarie e vengono usati da un insetto impollinatore per localizzare il nettare del fiore.

[Traduzione a cura di **Allegra Panini**]

### RISPOSTE

1. Flower colour depends on the presence of organic pigments and what we see is the result of reflected light from such pigments.
2. The two major classes of flower pigments are carotenoids and flavonoids.
3. Abathochromatic shift is a pH- dependent change in colour.
4. To attract pollinators that help plants reproduce.
5. Changing soil pH. It is possible to increase soil acidity by adding organic materials such as coffee grains or citrus peel.
6. F
7. T
8. T
9. T
10. Carotenoids are pigments that produce a breathtaking variety of red-to-yellow colours.
11. Floral pigments play a large role in the pollination of flowers by animals.
12. As most gardeners know, it is sometimes possible to change flower colour.
13. Essere verde di invidia.
14. Avere il pollice verde.
15. All'improvviso.
16. Con iode.



**Comitato editoriale:** Valeria Cappa, Marika De Acetis, Cristina Gatti, Valentina Murelli

**Coordinamento e progettazione:** Valentina Murelli

**Redazione e ricerca iconografica:** Jacopo Cristini

**Coordinamento realizzazione editoriale:** Marco Palvarini, Triestina Giannone

**Progetto grafico:** Shiroy Studio srl

**Impaginazione:** Giorgia De Stefani, Chiara Contrino

**Immagine di copertina:** Gorgonian fan coral on a coral reef wall on blue water background

**Credit:** serg\_dibrova / shutterstock

Si ringrazia per la collaborazione a questo numero Louise Jane Gourlay e Allegra Panini

*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 © 2016 Pearson Italia. [www.pearson.it](http://www.pearson.it)