

# science magazine

12  
MARZO 2016

LA SCIENZA IN CLASSE



## Speciale SCIENZE E BENI CULTURALI

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

**Studiare opere d'arte e reperti  
archeologici con la fisica nucleare**  
di Pier Andrea Mandò

2

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

**Matematica al servizio dell'arte**  
di Francesca E. Magni

8

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

**Il restauro è biotech**  
di Tiziana Moriconi

13

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

**Batteri utili... anche per le  
opere d'arte**  
di Marta Picciulin

19

CLIL - SCIENCE IN ENGLISH

**The fine line between art  
and science**  
by Chiara Ceci

23

# Studiare opere d'arte e reperti archeologici con la fisica nucleare

di **Pier Andrea Mandò**

Può forse sorprendere, ma la fisica nucleare, quella branca della fisica dedicata ai costituenti fondamentali della materia, può essere di grande aiuto quando si tratta di analizzare in dettaglio dipinti, manoscritti, manufatti e resti archeologici. Con tecniche e principi che permettono di effettuare datazioni, analisi di composizione e attività di restauro.



© 2015 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Il Papiro di Artemidoro: il supporto del papiro ha circa 2000 anni

**F**isica nucleare e beni culturali: il binomio può forse sorprendere, ma i due ambiti possono effettivamente essere molto vicini. La fisica nucleare è quella branca della fisica che studia le proprietà dei costituenti fondamentali della materia, cioè dei nuclei atomici e delle “particelle elementari”, con le loro ulteriori strutture interne, le loro interazioni e trasformazioni. Così come i

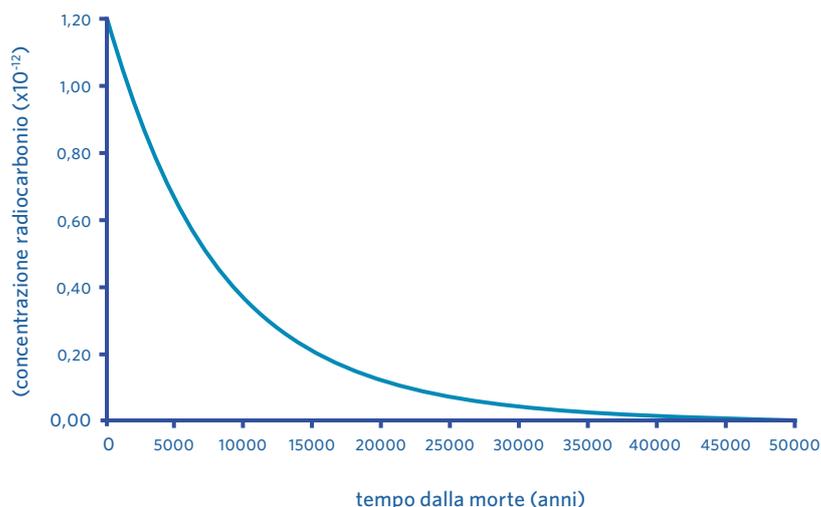
suoi principi e le sue tecnologie sono cruciali in tanti settori della medicina, anche per studiare “pazienti” come opere d’arte o reperti archeologici, la fisica nucleare può rivelarsi molto importante: in effetti, strumenti come acceleratori di particelle e rivelatori di radiazione, inventati per fare misure di fisica nucleare fondamentale, sono stati messi anche al servizio dei beni culturali.

### OROLOGIO RADIOATTIVO PER REPERTI ARCHEOLOGICI O ARTISTICI

Pensiamo per esempio alla datazione scientifica di reperti archeologici o opere d'arte. Uno dei metodi più utilizzati, fondato proprio sulla fisica nucleare, è quello del  $^{14}\text{C}$  (radiocarbonio), isotopo radioattivo del carbonio. È infatti il ritmo del decadimento del  $^{14}\text{C}$  che serve da "orologio" per sapere quanto è vecchio un reperto che sia stato un tempo parte di un essere vivente, animale o vegetale (parliamo quindi di legni, semi, ossa, peli, stoffe ecc.). In particolare, il metodo permette di misurare quanto tempo è passato dalla morte dell'organismo a cui il reperto apparteneva. Da noi al LABEC, Laboratorio di tecniche nucleari per l'ambiente e i beni culturali dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Firenze ([link.pearson.it/E2DA80A4](http://link.pearson.it/E2DA80A4)), come in altri laboratori nel mondo dedicati a questo tipo di analisi, passano ogni anno decine e decine di reperti archeologici di cui stabilire l'età, reliquie religiose di cui scoprire la compatibilità o meno con la loro attribuzione, opere d'arte per svelare eventuali falsi.

### IL METODO DEL RADIOCARBONIO

Ma come funziona il metodo del radiocarbonio? Vediamo. Pur se in quantità relativa bassissima, il  $^{14}\text{C}$  – isotopo di carbonio di massa 14 – è presente nel diossido di carbonio dell'atmosfera: circa una ogni mille miliardi di molecole di  $\text{CO}_2$  ha come atomo di carbonio il  $^{14}\text{C}$  anziché  $^{12}\text{C}$  (il più frequente) o  $^{13}\text{C}$ . Essendo radioattivo, il  $^{14}\text{C}$  prima o poi "decade", cioè diventa qualcos'altro. Ci si può chiedere allora: come mai in atmosfera non finisce mai? Il motivo ha ancora a che fare con la fisica nucleare: sono infatti i raggi cosmici, particelle che arrivano sulla Terra dallo spazio, a creare continuamente nuovi nuclei di  $^{14}\text{C}$ . I processi di formazione e decadimento si bilanciano in un "equilibrio dinamico" che ne mantiene una concentrazione costante in atmosfera. Praticamente la stessa concentrazione di  $^{14}\text{C}$  la troviamo anche in tutti gli esseri viventi, per effetto degli scambi metabolici di carbonio fra le loro molecole organiche e il  $\text{CO}_2$  atmosferico: scambio diretto (fotosintesi) per i vegetali, indiretto (tramite i cicli alimentari) per gli animali. Anche negli organismi viventi, come in atmosfera, avvengono continui decadimenti di  $^{14}\text{C}$  (in un uomo sono 3-4000 al secondo), ma i processi metabolici di riassunzione compensano i decadimenti e la concentrazione resta costante. Dopo la morte però, nei resti dell'organismo, il  $^{14}\text{C}$  che scompare per decadimento radioattivo non è



Curva per il decadimento radioattivo del  $^{14}\text{C}$

più "rimpiazzato" tramite i metabolismi! E così, a partire dalla morte la concentrazione di  $^{14}\text{C}$  lentamente decresce, seguendo l'andamento esponenziale decrescente "dettato" dalla legge generale del decadimento radioattivo. Nel caso specifico del  $^{14}\text{C}$ , il ritmo della diminuzione è tale che dopo 5700 anni ne saranno sopravvissuti la metà, dopo altri 5700 anni un quarto, e così via. Dunque, se misuriamo oggi la concentrazione residua di  $^{14}\text{C}$  in un resto, siccome conosciamo la concentrazione "di partenza" (quella dell'equilibrio con l'atmosfera) e l'andamento della progressiva diminuzione, possiamo anche determinare il tempo trascorso dalla morte.



Spettrometro di massa con acceleratore

### MISURE A ELEVATA PRECISIONE

Ma non solo il principio su cui si basa la datazione appartiene alla fisica nucleare. Anche i metodi e gli strumenti di misura della concentrazione residua di  $^{14}\text{C}$  nei resti organici sono nucleari. Stiamo parlando di una misura che richiede grande sensibilità, perché la concentrazione è bassissima, ma anche grande precisione, per avere solo piccole incertezze nella data ricavata.

E questa misura può essere effettuata anche su quantità davvero minuscole di materiale – pochi capelli, un semino, una scheggia di legno, un centimetro quadrato di stoffa – grazie a una tecnica chiamata AMS, *Accelerator Mass Spectrometry*, basata su particolari acceleratori di particelle, i Tandem. Il carbonio ottenuto dal reperto si mette nella “sorgente di ioni” del Tandem; gli atomi presenti nel materiale sono ionizzati e iniettati nell’acceleratore; in uscita, gli ioni carbonio vengono separati e contati secondo le loro masse (12-13-14), usando magneti, rivelatori di particelle e altri apparati. Solo grazie alle elevate energie finali e ai particolari meccanismi di accelerazione in queste macchine si raggiunge l’enorme sensibilità necessaria per il conteggio selettivo dei pochissimi isotopi di  $^{14}\text{C}$ , così da misurarne la concentrazione rispetto al totale. E si riescono a misurare concentrazioni di  $^{14}\text{C}$  anche di solo uno ogni milione di miliardi, che è quella rimasta in reperti vecchi di circa 50 mila anni!

#### DATARE LATERIZI E TERRECOTTE

Il  $^{14}\text{C}$ , dunque, è fondamentale per datare i resti organici. Ma per quanto riguarda i materiali inorganici, come terrecotte e laterizi, di grande interesse archeologico? Anche in questo caso la fisica nucleare offre una mano, grazie a una tecnica chiamata termoluminescenza, basata di nuovo sul fenomeno della radioattività: quella interna di alcune componenti di quei materiali, e quella dell’ambiente esterno in cui sono rimasti conservati. La dose di radioattività progressivamente rilasciata nelle componenti di struttura cristallina dei materiali vi produce una forma di “danno”, che cresce con il tempo. Ora, nella cottura di una terracotta o di un laterizio, le alte temperature per così dire “resettano” il danno accumulato nel materiale crudo. Subito dopo, però, il danno ricomincia ad accumularsi proporzionalmente al tempo trascorso dal riscaldamento, e può essere misurato prelevando una piccolissima frazione dal manufatto e

scaldandola di nuovo ad alte temperature. In questo modo si produce infatti una debole luce (da qui il termine termoluminescenza), la cui intensità è proporzionale alla dose di danno accumulata e quindi anche al tempo trascorso dal precedente riscaldamento. Con la TL, quindi, ciò che si data è il tempo trascorso dall’ultimo forte riscaldamento del materiale, che in genere coincide con la sua cottura e dunque proprio con ciò che interessa, la sua produzione come manufatto!

#### TRA DIPINTI, MOSAICI E TERRECOTTE

Altro contributo importante delle tecniche nucleari al mondo dei beni culturali sono le analisi di composizione di materiali. Sì, importante: perché conoscere quali materiali sono stati usati da un artista per produrre un’opera non è uno sfizio fine a se stesso, ma è spesso cruciale sia per approfondire le conoscenze storiche sulle tecnologie e sui materiali disponibili nel passato, sia come conoscenza preliminare al restauro per indirizzarne le scelte operative, per esempio nei materiali di pulitura. Noi del LABEC abbiamo avuto la fortuna, lavorando in collaborazione con musei, biblioteche e istituzioni per la tutela del patrimonio, di effettuare campagne di analisi su dipinti di Giotto, Simone Martini, Piero della Francesca, Raffaello, Leonardo, Mantegna, Antonello, Beato Angelico, Vasari. E non solo: abbiamo lavorato anche su decine di miniature medioevali e rinascimentali, manoscritti di Galileo, terrecotte invetriate robbiane (prodotte con la tecnica messa a punto nel Quattrocento dai Della Robbia), mosaici pompeiani.

#### DENTRO L’OPERA: L’ANALISI DELLA COMPOSIZIONE

La composizione di opere, documenti, manufatti, può essere ottenuta velocemente in maniera completa, quantitativa, e soprattutto senza arrecare il minimo danno, usando le tecniche di *Ion Beam Analysis* (IBA).



Il fenomeno della termoluminescenza nella fluorite

Funzionano così: un fascio di particelle prodotte da un acceleratore è inviato sul materiale da analizzare e l'interazione fra particelle del fascio e atomi del materiale induce l'emissione di raggi X, gamma, o di altre particelle, che hanno energie caratteristiche dei diversi elementi presenti nel "bersaglio". Appositi rivelatori di radiazione collocati vicini al punto colpito dal fascio "riconoscono" le diverse energie e ci fanno capire perciò, in un'unica misura, tutto quello che compone la zona colpita. In alternativa a un fascio di ioni da un acceleratore, come agente che induce l'emissione di radiazione X caratteristica dal materiale colpito si può usare un fascio di X primari prodotti da un tubo a raggi X (la tecnica si chiama XRF). Il tubo a raggi X è miniaturizzabile; così lo strumento di analisi diventa portatile e dunque utile per tutti quei casi in cui non si vuole, o non si può proprio (pensiamo alle pitture murali!) trasportare un'opera in laboratorio. Per vari aspetti le prestazioni sono minori rispetto all'IBA, ma la portabilità è un gran vantaggio! Sofisticata tecnologia di acquisizione dati permettono inoltre di fornire nelle misure IBA e XRF non solo la composizione di determinati "punti" analizzati, ma di restituire vere e proprie mappe di distribuzione, su aree estese di opere, di tutti gli elementi presenti. Un plus di grande importanza per aumentare la leggibilità e la rappresentatività dei risultati, evitando il rischio di generalizzare arbitrariamente l'interpretazione dei risultati su singoli punti, magari casualmente non rappresentativi. ●



Terracotta di Andrea Della Robbia

#### DALLA DIAGNOSI AL RESTAURO

Non solo datazioni: la fisica nucleare è alla base anche delle tecniche di imaging diagnostico: radiografia e tomografia per "vedere dentro" le opere, proprio come in medicina si guarda all'interno dei pazienti. E scoprire così cosa c'è dentro un vaso o un sarcofago senza romperlo o aprirlo o riuscire ad accorgersi per tempo che in una statua ci sono fratture interne che potrebbero a breve portarla a rottura. E ancora, sono fondamentali le tecniche basate sull'ottica, come la riflettometria infrarossa, che rivela i disegni preparatori sotto la pittura, mostrando eventuali "pentimenti" dell'artista nel dipingere, rispetto al progetto iniziale. Senza dimenticare l'ablazione laser come tecnica diretta di restauro. Una tecnica che permette di eliminare velocemente solo le incrostazioni depositatesi sulle statue marmoree o di bronzo, o sulle facciate dei monumenti, senza intaccare la superficie originale sottostante.

#### PER APPROFONDIRE

- *Ricerca applicata all'arte, la fisica per i beni culturali*, puntata della trasmissione Nautilus, Rai scuola. [link.pearson.it/95DDB032](http://link.pearson.it/95DDB032)

#### Pier Andrea Mandò

è ordinario di fisica applicata all'Università di Firenze ed è stato direttore della sezione di Firenze dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Si occupa presso il LABEC di tecniche nucleari per i beni culturali, per le quali ha ricevuto ampi riconoscimenti internazionali.

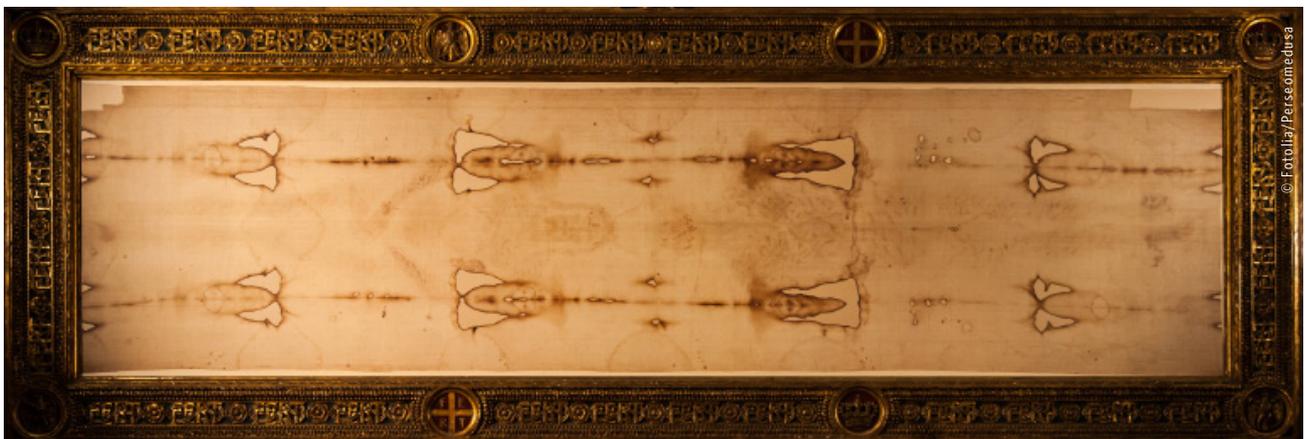


## Scheda Didattica / Studiare opere d'arte e reperti archeologici con la fisica nucleare

di **Francesca E. Magni**

### DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Chi ha inventato il metodo della datazione con il  $^{14}\text{C}$ ?  
Fai una ricerca in internet per rispondere a questa domanda.
2. Un celebre caso di datazione con il  $^{14}\text{C}$  è stato quello della Sindone di Torino, risalente al 1988. A quale periodo è stata fatta risalire la Sindone, sulla base delle informazioni ottenute con questo esperimento?
3. Nell'articolo si riporta un grafico di un andamento esponenziale decrescente. Quali altri fenomeni possono essere descritti da un grafico di questo tipo? Quali hanno invece un andamento esponenziale crescente? Proponi qualche esempio.
4. Datazione con il  $^{14}\text{C}$ , Ion Beam Analysis, Accelerator Mass Spectrometry, metodo della termoluminescenza, radiografia k-edge, tomografia, riflettometria infrarossa, ablazione laser: scegli uno di questi metodi per elaborare una scheda che lo definisca e cita un esempio di una sua applicazione a un'opera d'arte. Accompagna la scheda con almeno un'immagine.
5. Inventa un racconto giallo nel quale si parli di "archeometria" o di "archeoastronomia" e che contenga parti dedicate alla descrizione e spiegazione di dettagli scientifici, in modo che il lettore possa venire a conoscenza delle tecniche di fisica nucleare applicate all'ambito dei beni culturali.



La Sindone di Torino

## Scheda Didattica / Studiare opere d'arte e reperti archeologici con la fisica nucleare

di **Francesca E. Magni**

### DOMANDE E ATTIVITÀ

1. Il metodo è stato inventato fra gli anni Quaranta e Cinquanta del secolo scorso da Willard Frank Libby, che per questo avanzamento ha ottenuto il Premio Nobel per la Chimica nel 1960.
2. La Sindone è stata fatta risalire a un periodo compreso fra il 1260 e il 1390.
3. L'andamento esponenziale decrescente è tipico del decadimento di tutti gli elementi radioattivi e il loro grafico è detto appunto "curva di decadimento". Il numero degli atomi "figli" prodotti nei decadimenti radioattivi segue invece una legge esponenziale crescente descritta graficamente da una "curva di crescita". Un altro esempio di una funzione esponenziale crescente e decrescente può essere la carica e scarica di un condensatore di un circuito. Un esempio di esponenziale crescente preso dalla biologia è infine la crescita del numero di microrganismi in un brodo di cultura.

4. Informazioni sulle opere d'arte analizzate con i metodi nucleari, si possono reperire sul sito del LABEC, Laboratorio di tecniche nucleari per l'ambiente e i beni culturali dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Firenze ([link.pearson.it/E2DA80A4](http://link.pearson.it/E2DA80A4)).

Datazione con il  $^{14}\text{C}$ , Ion Beam Analysis, Accelerator Mass Spectrometry, termoluminescenza sono descritti nell'articolo. La radiografia denominata "k-edge" permette di distinguere il tipo di materiale di cui è fatta un'opera d'arte ed è utile per lo studio non-invasivo dei materiali pittorici di un dipinto ([link.pearson.it/49020BB1](http://link.pearson.it/49020BB1)).

La tomografia o Tac sfrutta i raggi x per produrre immagini di sezioni degli oggetti studiati; si ottengono in questo modo immagini tridimensionali, come per esempio quelle delle mummie egizie. Nella riflettometria infrarossa si irradia il dipinto con radiazione infrarossa che attraversa lo strato di colore e viene riflessa dalla tela contenente i disegni e poi si raccoglie l'immagine con telecamere sensibili all'infrarosso. L'ablazione laser è una tecnica che utilizza i laser per pulire le superfici antiche in modo da riportare alla luce gli strati originari ([link.pearson.it/3E053B27](http://link.pearson.it/3E053B27)).



Mummia egizia alla TAC

# Matematica al servizio dell'arte

di **Francesca E. Magni**

Prima o poi, in classe, la domanda arriva sempre: a che cosa serve la matematica? Una risposta inaspettata è che serve anche ad affrontare e risolvere problemi legati ai beni culturali, dal restauro alla modellizzazione di opere d'arte. In questo articolo, una breve panoramica dei rapporti tra due ambiti apparentemente tanto lontani.



Il complesso archeologico del teatro romano di Aosta

Quante volte in classe succede di sentire la domanda: “A che cosa serve la matematica?”. Una risposta possibile è anche questa: “Serve all'arte”. All'Accademia dei Lincei, il 15 e 16 dicembre 2015 si è svolto un convegno dedicato all'esplorazione delle connessioni esistenti tra i modelli matematici e le problematiche legate ai beni culturali ([link.pearson.it/A70C6A9D](http://link.pearson.it/A70C6A9D)). L'argomento è molto interessante sia a livello teorico sia pratico, in particolare per gli studenti che devono orientarsi per il loro futuro studio universitario. E a maggior ragione in Italia, Paese che ha il maggior numero

di siti riconosciuti dall'Unesco come patrimonio mondiale dell'umanità. Vediamo quindi di capire in dettaglio con alcuni esempi perché la matematica può essere utile anche in questo contesto.

## ADOTTARE STRATEGIE RIGOROSE

La matematica è utile per esempio al restauro perché insegna a risolvere problemi complessi adottando strategie rigorose. “L'impostazione moderna del restauro richiede un approccio strategico, che preveda di operare in maniera logica, programmatica e sulla base di una

conoscenza profonda del contesto del problema da affrontare” sostiene Mauro Matteini del Consiglio Scientifico dell’Opificio delle Pietre Dure di Firenze. Prendiamo la conservazione dei marmi: l’approccio convenzionale si concentrava solo sull’applicazione di barriere protettive idrofobe, in grado di proteggere le lastre di marmo dagli agenti ambientali veicolati dall’acqua (sostanze acide o saline, componenti microbiologiche, polveri sospese ecc.). Sul lungo periodo, però, questo approccio si è rivelato fallimentare, perché sono sorti inconvenienti impreveduti come l’annerimento in tempi più brevi delle superfici trattate. Così, dalla metà degli anni Novanta si è incominciato a cercare soluzioni che tenessero conto non solo del problema-base ma anche di quelli legati al contesto. Per esempio, sono stati messi a punto procedimenti innovativi che rispettano la natura idrofila dei marmi e delle pietre calcaree, preservandole così nel tempo. E tutto con l’aiuto della matematica, sia in termini di “mentalità”, che ha permesso di trovare soluzioni migliori e più articolate, sia in termini di strumenti, come algoritmi operativi concreti per risolvere i problemi.

#### UN MODELLO DI DURABILITÀ DELLA PIETRA

Un altro esempio legato ai marmi riguarda il modello matematico della durabilità del materiale lapideo del complesso archeologico del teatro romano di Aosta, realizzato da un gruppo di lavoro costituito da ricercatori del CNR, dell’Università di Torino e della Soprintendenza regionale per i beni e le attività culturali della Valle d’Aosta.

“Un materiale lapideo esposto in ambiente esterno è soggetto all’azione simultanea di diversi fattori abiotici e biotici che con meccanismi di tipo fisico e chimico interagiscono con il materiale stesso modificandone progressivamente lo stato di conservazione. Intervalli critici o valori di soglia dei vari agenti, loro sinergie e opposizioni, insieme alle caratteristiche specifiche del litotipo e alla sua posizione geografica e climatica, instaurano un equilibrio dinamico in cui la pietra, per durare nel tempo, deve possedere una resistenza superiore all’azione degradante dei fattori ambientali” sostengono i ricercatori nella loro relazione al convegno all’Accademia dei Lincei. Nel loro modello compaiono parametri matematici – per esempio la porosità – che contengono altri sottoparametri, quali *la distribuzione dimensionale dei pori, il loro grado di interconnessione, la porosità efficace, e di conseguenza l’assorbimento di acqua per capillarità, l’indice di saturazione, l’indice di evaporazione ecc.* Hanno poi creato una matrice numerica di “durabilità dinamica” che sta alla base del modello perché



La Resurrezione di Lazzaro di Caravaggio

serve a prevedere come il sistema delle variabili possa influire sulla durabilità del materiale. Grazie a un sistema di codici di interazione causa-effetto, costituiti da numeri che vanno da 0 (nessuna interazione) a 5 (interazione critica) è possibile valutare quantitativamente il loro impatto.

#### IL METODO DEGLI ELEMENTI FINITI

Quando un sistema di equazioni differenziali non è risolvibile con le usuali tecniche di analisi, si ricorre a un metodo di analisi numerica denominato “degli elementi finiti”: è un procedimento che approssima le soluzioni delle equazioni “discretizzando” le equazioni stesse cioè trasformandole in un sistema di equazioni algebriche.

I campi di applicazione di questo metodo matematico sono tantissimi e anche i beni culturali se ne sono appropriati per ottimizzare le strategie di conservazione di opere di enorme pregio come per esempio *l’Annunciazione* di Antonello da Messina, *la Resurrezione di Lazzaro* di Caravaggio e il cartone preparatorio della *Scuola di Atene* di Raffaello. Un gruppo di ricerca dell’Università La Sapienza, dell’Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro di Roma e della Libera Università di Bolzano ha analizzato lo stato di tensionamento dei tre quadri, cioè lo stato di tensione e deformazione delle tele. Dopo aver applicato dei piccoli carichi sulla superficie posteriore dei dipinti e aver registrato i rispettivi valori degli spostamenti dei punti sulle tele, li hanno inseriti nel modello matematico per individuare e poter prevedere il comportamento

delle zone di tensione non uniforme, pericolose per la corretta e duratura conservazione dell'opera. Se infatti la tela presenta delle zone più o meno tese di altre, aumenta il rischio di rottura o danneggiamento della stessa e della pittura: è quindi importante riuscire a monitorarle per controllarle e intervenire se necessario. Applicare la modellizzazione matematica in questo frangente è molto più difficoltoso rispetto ad altri ambiti perché per evitare di danneggiare il campione osservato non si possono raccogliere molti dati sul comportamento del materiale, soprattutto quelli derivanti dalle prove meccaniche distruttive, che per ovvie ragioni non si possono mai avere.

### SIMULARE LE CIRCOSTANZE CRITICHE

Lo stesso metodo è stato applicato anche a due importanti opere statuarie come la *Pietà Rondanini* di Michelangelo posta di recente nella nuova sede milanese del Castello Sforzesco e il *Discobolo Lancillotti* del Museo Nazionale Romano. In entrambi i casi, il modello matematico è stato utile per simulare le possibili circostanze critiche, tramite l'analisi delle caratteristiche strutturali della statua, evitando quindi di danneggiarla, grazie alla natura "teorica" del test. È stato così possibile progettare e realizzare il nuovo basamento della *Pietà* in maniera antisismica anche isolando l'opera dall'effetto ripetuto delle vibrazioni dovute al passaggio della metropolitana non lontana dal luogo di esposizione. Nel caso del *Discobolo* si è arrivati a una valutazione ottimale del livello di rischio nella movimentazione, sconsigliandone assolutamente il trasporto.

### MODELLI 3D

"L'evoluzione delle tecnologie per la costruzione di modelli 3D di opere d'arte o monumenti (digitalizzazione o scansione 3D) ha raggiunto livelli di qualità, velocità di realizzazione e semplicità di uso del tutto inaspettati fino a pochi anni fa" ci spiega Roberto Scopigno, direttore dell'Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione (ISTI) del CNR di Pisa. Dall'applicazione di queste tecniche innovative alla ricerca storica, al restauro, alla fruizione museale ecc. è nato il settore delle *Digital Humanities*, che utilizza per esempio modelli



Sigillo cilindrico di Ibni-Sharrum, la riproduzione "srotolata" è conservata al Louvre

tridimensionali creati al computer come importante supporto per lo studio e il restauro di opere d'arte. Tali modelli matematici sono quindi adottati come nuovi e utili strumenti di lavoro al servizio degli operatori dei beni culturali. Avere la copia esatta di un'opera da poter maneggiare può essere utile per sperimentare tecniche di restauro e di analisi che con l'originale potrebbero risultare rischiosi: si pensi alla possibilità di sezionarla o di ridurne le dimensioni per studiare il suo posizionamento all'interno del progetto di una mostra ecc. Oppure, come nel caso del piccolo cilindro di Ibni-Sharrum alto solo 4 centimetri, considerato un reperto mesopotamico rarissimo, si è ottenuta una sua riproduzione ingrandita di ben 50 volte, che è stata esposta al Louvre in una esibizione temporanea; è stato così possibile ammirare tutti i particolari scolpiti sulla sua superficie, che nella copia è stata "srotolata" in modo da ottenere un rettangolo di circa 2x4 metri di altezza e lunghezza.

Altri esempi? La creazione di un prototipo tridimensionale della statua romana in bronzo dell'*Arringatore* del Museo Archeologico di Firenze o del dipinto della *Madonna del Belvedere* di Raffaello. Si tratta di una vera propria fabbricazione digitale – grazie alle stampanti 3D – che permette di concretizzare i modelli matematici visibili in precedenza solo sullo schermo di un computer. Le figure digitali diventano così copie fisiche dell'opera d'arte di un livello di accuratezza eccellente, utilizzabili per tutti gli scopi previsti dalla ricerca museale. ●

### Francesca E. Magni

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



## Scheda Didattica / **Matematica al servizio dell'arte**

di **Francesca E. Magni**

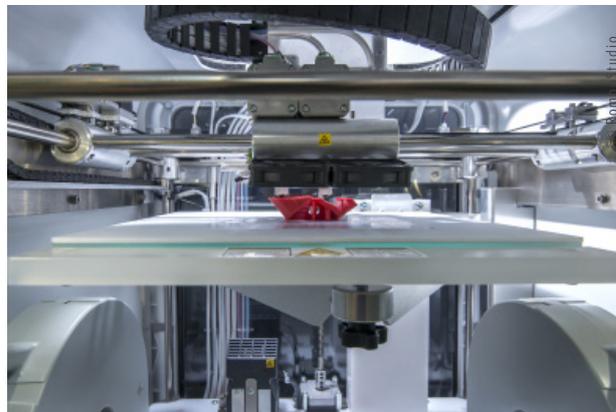
### DOMANDE E ATTIVITÀ

**1.** La bufala dell'Italia che ha il 50% dei beni culturali mondiali: in televisione e in alcuni giornali è circolata la falsa notizia secondo la quale il nostro Paese ospiterebbe più della metà del "patrimonio artistico e culturale" del mondo. Per sfatare questo mito basta ricorrere alla matematica e cioè analizzare i dati in maniera razionale. I siti inclusi nel Patrimonio mondiale dell'umanità sono stati catalogati dall'Unesco: su un totale di 936 tra siti culturali (725), ambientali (183) e misti (28) l'Italia ha 47 siti riconosciuti (di cui 44 culturali e 3 ambientali). Calcola perciò la percentuale reale dei siti riconosciuti all'Italia rispetto a quelli mondiali. Calcola anche la percentuale dei soli siti culturali italiani. La vera notizia è che l'Italia ha il maggior numero di siti riconosciuti dall'Unesco, ma come hai potuto verificare dal calcolo, questo non ha nulla a che vedere con il possederne il 50%.

**2.** Cerca in rete "metodo degli elementi finiti" e scrivi una lista dei casi nei quali viene applicato. Questo metodo appartiene alla matematica continua oppure a quella discreta?

**3.** Nell'articolo si cita la "matrice numerica". Qual è la sua definizione? Ti è capitato di utilizzare questo strumento matematico a scuola?

**4.** Per quanto riguarda l'utilizzo delle stampanti 3D per ricostruire oggetti d'arte e/o archeologici, prova a leggere e a tradurre l'*abstract* in inglese dell'articolo che trovi a questo indirizzo [link.pearson.it/26D531A5](http://link.pearson.it/26D531A5). Sapresti scriverne una breve sintesi in italiano? Chi sono e dove lavorano gli autori dell'articolo?



Esempio di stampante 3D

## Scheda Didattica / **Matematica al servizio dell'arte**

di **Francesca E. Magni**

### RISPOSTE

**1.** Per calcolare la percentuale  $x$  dei siti italiani riconosciuti dall'Unesco rispetto a quelli mondiali basta impostare la proporzione  $47 : 936 = x : 100$ . Si ottiene  $x = 5,02\%$ . In particolare, per i siti culturali (che in Italia sono 44 e in totale nel mondo 725) si ha  $44 : 725 = x : 100$ . La percentuale aumenta, anche se di poco, perché risulta  $x = 6,07\%$ .

**2.** In internet si trovano tante applicazioni del metodo agli elementi finiti, come per esempio: simulazione dell'impatto di un veicolo automobilistico contro una barriera asimmetrica (i "crash test"); determinazione dello stato di sforzo e della deformazione di un materiale metallico sotto carico sul quale si deve applicare la "pallinatura" e cioè un processo di martellamento superficiale che ne migliora la resistenza; realizzazione di modelli di strutture navali; descrizione della diffusione del calore; descrizione di reazioni chimiche.

Il metodo appartiene alla matematica discreta perché è un metodo numerico per approssimare le soluzioni delle equazioni differenziali (che fanno parte invece della matematica del continuo).

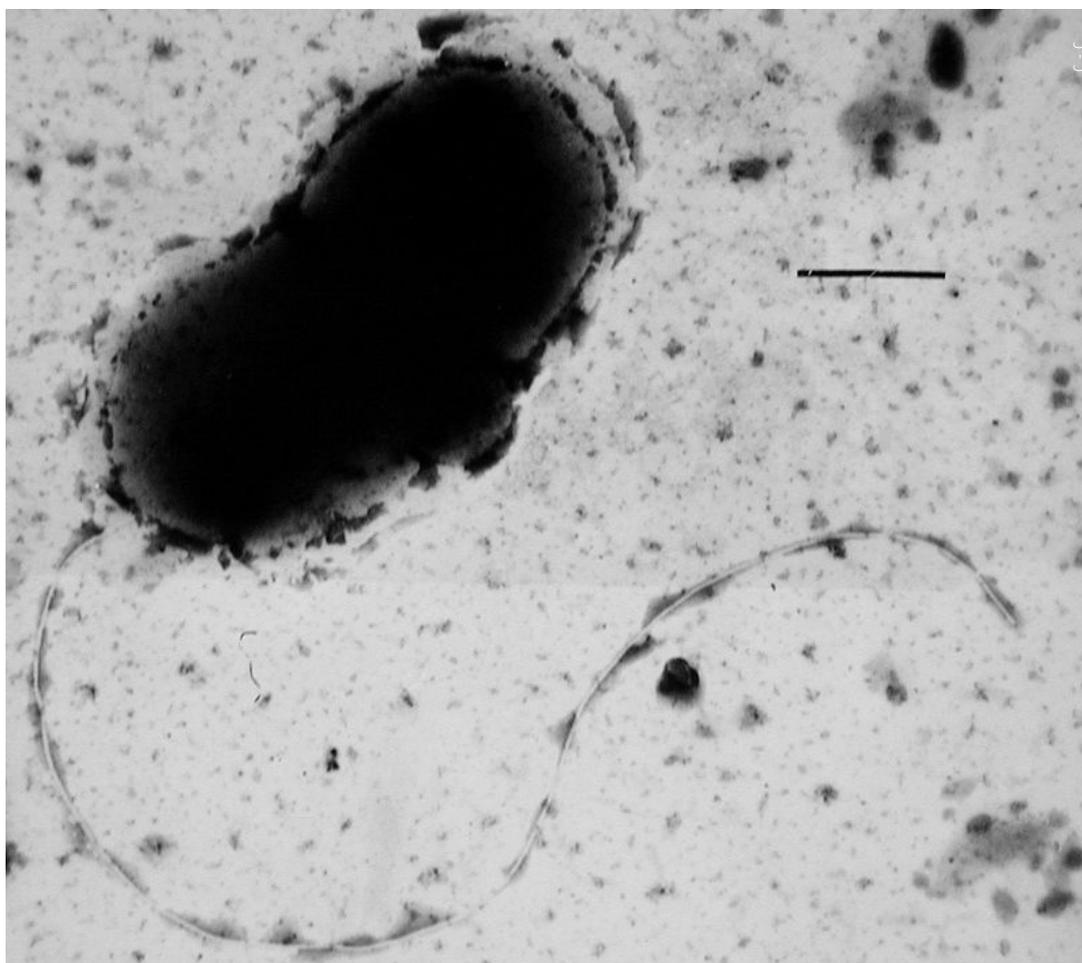
**3.** Una matrice numerica  $m \times n$  è una tabella di  $m$  righe ed  $n$  colonne. Si applica a scuola nel metodo di Cramer per risolvere i sistemi di equazioni lineari.

**4.** Nell'*abstract* si osserva che la costruzione digitale, tramite le stampanti 3D, dei modelli tridimensionali progettati al computer ha ottenuto risultati eccellenti. Uno dei nuovi campi di applicazione è quello dei beni culturali e gli autori dell'articolo dicono che esportano molti esempi insieme a ulteriori proposte di aree di applicazione future. Gli autori sono Roberto Scopigno, Paolo Cignoni, Nico Pietroni, Marco Callieri e Matteo Dellepiane; lavorano al Visual Computing Lab. dell'ISTI/CNR di Pisa.

# Il restauro è biotech

di **Tiziana Moriconi**

L'Italia è in prima linea nelle strategie di conservazione dei beni culturali basate sui batteri. Questi microrganismi, infatti, possono essere utilizzati in ben due ambiti: la pulitura delle opere d'arte e il consolidamento di sculture e monumenti. In questo articolo, una panoramica sui meccanismi alla base di questi impieghi particolari.



Il *Desulfovibrio vulgaris* è stato il primo batterio impiegato con successo nella biopulitura delle opere d'arte

**A**l pari della fisica e della chimica, anche la biologia può essere messa al servizio dell'arte e della conservazione dei beni culturali. Come? Per esempio sfruttando le caratteristiche di certi microrganismi, come i batteri, che si sono dimostrati abili restauratori. Parliamo, ovviamente, di specie non pericolose per la salute e che posseggono abilità particolari: per esempio

“mangiare” le patine di sporco che si depositano nel tempo sulle opere d'arte oppure produrre (precipitare, in gergo) sali minerali che vanno a rinforzare sculture, architetture e manufatti in pietra. In effetti, l'applicazione della biologia alle tecniche di restauro si divide in questi due rami: la biopulitura e il bioconsolidamento. Scopriamo di cosa si tratta.

### UN IMPACCO DI BATTERI

A ipotizzare l'impiego dei microrganismi per il restauro dei beni culturali furono due inglesi, Anne Moncrieff e Kenneth Hempel del Victoria and Albert Museum di Londra. Era il 1970, e i due restauratori avevano intuito che alcuni ceppi di batteri avrebbero potuto "mangiare" le cosiddette croste nere che spesso si formano sui monumenti. Cominciarono così a presentare ai convegni internazionali la loro idea di un "impacco biologico" (*biological pack*) da applicare ai marmi. Il primo vero studio di biorestauro arrivò, però, parecchio più tardi, alla fine degli anni Ottanta: quando Ronald Atlas (oggi docente di Biologia all'Università di Louisville, Usa) dimostrò che il batterio *Desulfovibrio vulgaris* poteva davvero ripulire il marmo, e senza causare alcun danno. Dopo 12 ore di trattamento, Atlas aveva ottenuto una pulitura parziale di una superficie: un risultato modesto, ma la prova sperimentale c'era. Da quel momento, restauratori e biologi hanno cominciato a ricercare i microrganismi più adatti da utilizzare nella pulitura di diversi tipi di materiali: non solo marmi, ma anche affreschi e dipinti murari, pitture su legno, libri e pergamene antiche, pellicole, lastre fotografiche, monete.

### ITALIA IN PRIMA LINEA

L'Italia, con il suo immenso patrimonio storico e artistico, non poteva che essere un luogo di elezione per lo sviluppo di questo campo di ricerca, nel quale, non a caso, primeggia. Il primo biorestauro italiano è stato eseguito nel 2004 sull'affresco *Conversione di S. Efsio e battaglia* di Spinello Aretino, nel Camposanto Monumentale di Pisa. Gli affreschi del Camposanto erano stati danneggiati da un bombardamento nel 1944 e restaurati nel dopoguerra con una colla animale, che però stava causando rigonfiamenti, crepe e perdita di colore. Ergo, la colla andava rimossa, ma i metodi tradizionali non avevano dato i risultati sperati. Il problema è stato risolto proprio grazie a un batterio, *Pseudomonas stutzeri*. A identificarlo come il candidato ideale, e a testarlo con successo, sono stati i microbiologi delle università del Molise e di Milano (in cui si trovano due dei centri di ricerca italiani più avanzati nel biorestauro).

Appena un anno dopo, sempre l'Università di Milano ha condotto il secondo esperimento, questa volta sul marmo del Duomo del capoluogo lombardo. Come nel primissimo test di Atlas, si trattava di rimuovere le croste nere e sono stati usati gli stessi tipi di microrganismi: *Desulfovibrio desulfuricans* e *Desulfovibrio vulgaris*.

Oggi, a poco più di 10 anni di distanza, l'elenco delle opere d'arte italiane restaurate dai batteri conta circa un centinaio di voci, tra cui spiccano la Pietà Rondanina di Michelangelo e i dipinti della Galleria Farnese, a Roma.



© Piero Cruciani/Demotix/Corbis

La Pietà Rondanini di Michelangelo tra le principali opere restaurate con il contributo dei batteri

### MICRO-PULITORI ALL'OPERA

Come fanno, esattamente, i microbi a ripulire le superfici delle opere? "Nel caso dei batteri usati per rimuovere le sostanze indesiderate organiche e inorganiche si tratta di sfruttare il loro naturale processo di respirazione", risponde Francesca Cappitelli, docente di microbiologia all'Università di Milano, tra i pionieri italiani di biorestauro.

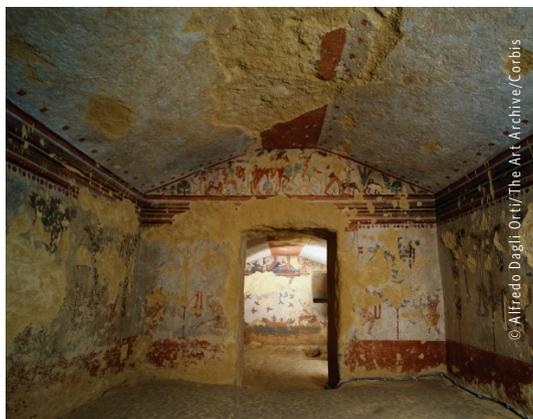
“In pratica – continua Cappitelli – questi batteri trasformano le sostanze da rimuovere, che sono solide, in gas. Non c'è pericolo di inquinamento, perché questi gas sono già presenti naturalmente in atmosfera.”

Prendiamo le croste nere: si formano perché gli ossidi di zolfo – che sono inquinanti atmosferici – interagiscono con il carbonato di calcio di cui è costituito il marmo. La reazione chimica dà luogo al solfato di calcio biidrato, che non è altro che gesso. Questo gesso, però, si scioglie e si ricristallizza in continuazione, inglobando le particelle nere carboniose presenti in atmosfera per via dell'inquinamento. “E qui entrano in gioco i batteri anaerobi come *Desulfovibrio*” spiega Cappitelli. “Questi microbi respirano i sali a base di zolfo e rilasciano in cambio acido solfidrico, che è un gas” (i batteri che presentano queste caratteristiche vengono detti solfato-riduttori, NdR). Nel caso delle colle animali, invece, si usano batteri aerobi che mangiano letteralmente i residui organici, grazie a un complesso di enzimi in grado di metabolizzarli.

I batteri non sono gli unici organismi impiegati nella conservazione dei beni culturali: anche i microfunghi e certi lieviti possono svolgere un ottimo lavoro. Il microfungo *Beauveria bassiana*, per esempio, è in grado di trasformare i composti di corrosione del rame, responsabili del degrado chimico di alcuni oggetti in metallo, in una patina stabile (di ossalato di rame) che, per di più, protegge il metallo stesso dal deterioramento.

#### TROVARE LA COMBINAZIONE OPPORTUNA

“Il punto è trovare la combinazione migliore”, dice Anna Rosa Sprocati, coordinatrice delle attività del laboratorio di Microbiologia ambientale e Biotecnologie microbiche dell'Enea Casaccia di Roma, un altro dei laboratori d'eccellenza: “Il



Una delle stanze della necropoli di Tarquinia di origine etrusca

microorganismo da utilizzare, infatti, va scelto in base a molti fattori: al tipo di materiale da trattare, al tipo di sporco e a tutti i precedenti interventi di restauro o di modifica che ha subito l'opera. Ogni reperto è un caso a sé e molto spesso un procedimento già applicato con successo deve essere adattato a nuove condizioni.”

Il gruppo di Sprocati può contare su una collezione di circa 500 batteri restauratori. “Questi ceppi sono stati isolati in ambienti estremi, come i luoghi contaminati o i siti di lavorazione mineraria, e presentano caratteristiche molto particolari”, continua Sprocati. “Vengono selezionati per la loro azione altamente selettiva e questo è un grande vantaggio nel restauro, perché garantisce che l'intervento sia mirato al deposito da eliminare, e che il materiale sottostante non verrà danneggiato. Noi studiamo ciascun ceppo e osserviamo la sua azione sui diversi possibili substrati. Non si scappa: ogni nuovo caso di biorestauro deve essere studiato e quasi sempre la procedura che ne deriva resta a livello sperimentale, cioè di ricerca. Il passo successivo sarebbe trasformare il prodotto della ricerca in un prodotto ‘pronto per l'uso’ ma ancora oggi esistono pochi brevetti e soltanto un prodotto commerciale italiano.”

L'obiettivo, però, è di ampliare il più possibile l'impiego dei microorganismi perché si possano rimpiazzare i solventi, più aggressivi sulle opere e tossici per gli operatori e per l'ambiente, creando un mercato di nuovi prodotti “bio-based”. Sono molti gli studi in corso. Qualche esempio? Sull'eliminazione di patine carbonatiche con ceppi batterici scoperti nella Tomba di Mercareccia, nella Necropoli di Tarquinia, applicati sui dipinti murali della Casina Farnese; sulla pulitura di superfici artistiche deteriorate da patine grasse con batteri che producono bioemulsionanti, cioè una sorta di saponi; sulla pulitura della carta antica grazie a *Ochrobactrum sp.*, un altro bravo mangiatore di colle animali.

#### BATTERI MURATORI: IL BIOCONSOLIDAMENTO

Anche l'intuizione di sfruttare i batteri per fortificare le opere in pietra non è nuova: risale a oltre 30 anni fa, quando si osservò che *Bacillus cereus* e *Myxococcus xanthus* erano capaci di produrre in laboratorio dei cristalli di calcite (carbonato di calcio). Questo fenomeno è noto come biomineralizzazione e oggi sappiamo che è molto comune tra i microorganismi. C'è almeno un vantaggio nell'usare i batteri calcinogeni per consolidare le opere in pietra carbonatico-

calcareae: la loro calcite (detta *biocalcite*) è più resistente e si integra meglio con il substrato rispetto a quella prodotta con i metodi più tradizionali.

Il primo test sul campo fu fatto nel 1999: un ceppo di *Bacillus cereus* (prelevato da una roccia carsica) fu letteralmente spruzzato sulla torre della Chiesa di Saint Medard (XII secolo) a Thouars, in Francia, su una superficie di circa 50 metri quadrati. Risultato? Il bacillo produsse uno strato superficiale di calce (di qualche micron) che ha consolidato la torre ed è rimasto stabile per almeno tre anni. Altri batteri come *Myxococcus xanthus*, grazie alla loro motilità, non colonizzano solo la superficie della pietra, ma penetrano al suo interno, attraverso i pori.

Poiché servono alcuni giorni per ottenere il deposito di calcite, insieme ai batteri vengono spruzzate anche sostanze organiche, per esempio aminoacidi – di cui i microrganismi si nutrono. In alcuni casi, come nel Monastero di San Geronimo di Granada in Spagna, è stato osservato che è sufficiente – se non preferibile – applicare soltanto la soluzione nutritiva sulla pietra calcarea per stimolare la crescita dei microrganismi calcinogeni già naturalmente presenti e che, da soli, riescono a consolidare i monumenti.

#### VERSO UN MERCATO DEL BIORESTAURO

Spagna e Francia sono in prima linea su questo fronte di ricerca, ma anche in Italia c'è fermento. “Nel corso degli ultimi anni, siamo riusciti a sintetizzare a bassi costi i componenti dell'acido aspartico, un aminoacido che può essere usato come precursore della biocalcificazione”,



Da Rio di Palazzo, vista sul Ponte dei Sospiri: le opere in pietra vengono fortificate con la biomineralizzazione

racconta Oana Cuzman, ricercatrice dell'Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali (ICVBC) del CNR. “Ancora, sotto la guida di Piero Tiano, pioniere della biocalcificazione in Italia, e insieme all'Università di Firenze, abbiamo individuato i geni coinvolti nel processo di precipitazione della calcite nel batterio *Bacillus subtilis*: grazie a questa scoperta, è stato possibile indurre la precipitazione di calcite senza ricorrere alle cellule batteriche vive. È molto importante continuare a studiare il ruolo ecologico dei microrganismi utilizzati per la conservazione dei beni culturali: questo ci permetterà di controllare sempre più nel dettaglio i processi e di immaginare un possibile mercato per il biorestauro.” ●

#### PER APPROFONDIRE

- *Biorestauro nei Musei Vaticani*, atti di una giornata di studi tenutasi il 10 ottobre 2013. [link.pearson.it/CE9A177E](http://link.pearson.it/CE9A177E)
- Ranalli G. et al., *Biotechnology applied to cultural heritage: biorestitution of frescoes using viable bacterial cells and enzymes*, “J Appl Microbiol”, 2005. [link.pearson.it/B99D27E8](http://link.pearson.it/B99D27E8)
- Cappitelli F. et al., *Advantages of using microbial technology over traditional chemical technology in the removal of black crusts from stone surfaces of historical monuments*, “Applied and Environmental Microbiology”. [link.pearson.it/20947652](http://link.pearson.it/20947652)

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







# Batteri utili... anche per le opere d'arte\*

di **Marta Picciulin**

I batteri sono utilizzati dall'uomo in vari ambiti, compresa la conservazione dei beni artistici. In particolare, possono dare una mano nella pulizia di superfici sporche o danneggiate dal tempo e nel rafforzare la struttura di sculture e monumenti.



Artemide e Afrodite dal Partenone frontone est: ben visibile lo strato nero che ricopre il marmo

I batteri sono gli organismi più diffusi sulla Terra. Di piccole dimensioni, si trovano in ogni ambiente e riescono a sopravvivere anche a condizioni estreme. Molte specie sono già utilizzate dall'uomo per esempio per produrre formaggi o per la depurazione dell'acqua, ma le caratteristiche di questi organismi si sono rivelate importanti anche in campi più sorprendenti, come la conservazione delle opere d'arte.

## **BATTERI "MANGIA-SPORCO"**

Guardando i monumenti della tua città potrai notare come nel tempo si vadano formando delle croste nere, che li rendono meno belli. Ciò avviene a causa della reazione degli inquinanti atmosferici a base di zolfo con il marmo di cui sono fatti. Alcuni batteri anaerobi, non pericolosi per la salute umana, sono in grado di rimuovere queste patine

di sporco, trasformandole da solide, come sono, in gas. Non c'è pericolo di ulteriore inquinamento, perché questi gas sono già presenti naturalmente in atmosfera. Ecco dunque che gli studiosi hanno deciso di utilizzare questa abilità dei batteri per ripulire le opere d'arte. Questa tecnica si chiama *biopulitura* e non si limita al marmo, ma può essere utilizzata anche per affreschi e dipinti murari, pitture su legno, libri e pergamene antiche, pellicole, lastre fotografiche, monete.

## **TUTTI I VANTAGGI DEI BATTERI PULITORI**

I batteri "pulitori" conosciuti sono molti, e le specie utilizzate di volta in volta dipendono da vari fattori, come il materiale da trattare, il tipo di sporco ed eventuali interventi di restauro precedenti. Il vantaggio nell'utilizzo dei microrganismi per mantenere il nostro patrimonio artistico è quello

★ Questo articolo è una versione sintetica e semplificata dell'articolo *Il restauro è biotech*, pubblicato sempre su Science Magazine n.12, a p. 13.

di poter rimpiazzare altri materiali solventi usati più comunemente che, oltre ad arrecare maggior danno alle opere artistiche, sono tossici per l'ambiente.

#### PRIMATI ITALIANI

L'Italia, con il suo immenso patrimonio storico e artistico, è particolarmente interessata all'utilizzo della biopulitura, una tecnica nella quale non a caso primeggia. Il primo biorestauro italiano è stato svolto a Pisa nel 2004 e oggi, a poco più di 10 anni di distanza, l'elenco delle opere d'arte "restaurate dai batteri" conta almeno un centinaio di voci, tra cui spiccano la *Pietà Rondanini* di Michelangelo e i dipinti della Galleria Farnese, a Roma.

#### BATTERI MURATORI

Non è tutto: oltre che per "ripulire" superfici artistiche, i batteri possono essere utilizzati anche per fortificare le opere in pietra, un'attività chiamata biorisanamento. Circa 30 anni fa, infatti, alcuni scienziati osservarono l'esistenza di batteri in grado di produrre autonomamente dei minerali, come i cristalli di carbonato di calcio (calcite). Questa caratteristica risultava molto utile per consolidare la pietra calcarea di cui sono fatti molti monumenti ed edifici storici che nel tempo si deteriorano a causa degli agenti chimici e fisici ai quali sono esposti.

#### PERCHÉ LA BIOCALCITE È MEGLIO

La calcite prodotta dai batteri (detta *biocalcite*) non è solo compatibile con la roccia originaria, ma appare più resistente rispetto a quella prodotta con i metodi tradizionali e capace di integrarsi meglio con il substrato. La prima applicazione del bioconsolidamento risale al 1999 quando un ceppo di batteri venne spruzzato sulla torre della Chiesa di Saint Medard a Thouars, in Francia, su una superficie di circa 50 metri quadri, producendo uno strato superficiale di calcite che ha consolidato la torre ed è rimasto stabile per almeno tre anni. ●



La Chiesa di Saint Medard a Thouars, in Francia

#### Marta Picciulin

insegna matematica e scienze presso la scuola secondaria di primo grado. È dottore di ricerca per il monitoraggio dell'alterazione ambientale e science writer freelance.





## Scheda Didattica / Batteri utili... anche per le opere d'arte

di **Marta Picciulin**

### RISPOSTE

1. Nucleo; flagelli; anaerobi; autotrofi; asessuata.
2.
  - a. Per *biopulitura* intendiamo l'opera di pulitura del patrimonio artistico effettuata mediante l'utilizzo di alcuni ceppi specifici di batteri. Per *bioconsolidamento* intendiamo lo sfruttamento di batteri specifici in grado di produrre cristalli minerali (per lo più calcite) per fortificare le opere in pietra.
  - b. Il termine *bio* indica che queste tecniche si avvalgono di organismi viventi, nel caso specifico batteri.
  - c. Le tecniche di biopulitura permettono di ripulire le opere d'arte senza rovinare i loro materiali, come avverrebbe utilizzando prodotti sintetici, e senza inquinare. Inoltre, i minerali prodotti dai batteri durante il bioconsolidamento sono più resistenti di quelli normalmente utilizzati dall'uomo.
3. La chiesa romanica Saint-Médard a Thouars in Francia risale al XII secolo ma è stata rimaneggiata durante il XV e XVI secolo. Opere antiche come questa risentono nel tempo di una perdita netta di materiale (erosione), che si verifica soprattutto nelle zone esposte all'azione dilavante della pioggia, dell'annerimento causato dal deposito delle particelle atmosferiche e dello stress fisico determinato da fattori climatici (gelo, pioggia, sole) e microclimatici (umidità, luce, calore). La *Pietà Rondinini*, invece, è una scultura in marmo realizzata a metà del 1500. Rimasta quasi sempre al chiuso, ha avuto bisogno di restauri a causa di diverse sostanze (vernici, stucchi, malte) che avevano macchiato la pietra e della patina giallo-bruna di polveri e residui che la rivestiva.
4. Mediante questa esperienza possiamo valutare la quantità di batteri (carica microbica) presente sulle nostre mani in tre diverse condizioni. Si osserva che le colonie di batteri nelle piastre ove la semina è effettuata con le mani precedentemente lavate sono presenti in misura minore rispetto al caso in cui la semina sia stata effettuata con le mani sporche; il loro numero si riduce ulteriormente dopo l'uso del disinfettante. Concludiamo che, in assenza di un disinfettante capace di eliminare tutti o la maggior parte dei batteri dalla cute, lavarsi le mani è la procedura più semplice e più efficace per evitare la trasmissione dei batteri e quindi prevenire il contagio di eventuali malattie da essi veicolate.

Le capsule di Petri sono normalmente reperibili in negozi specializzati, ma se ne può anche realizzare una versione semplificata adatta per un'esperienza scolastica.

Il terreno di coltura si prepara sciogliendo in mezzo litro d'acqua bollente 5-6 fogli di gelatina (colla di pesce), precedentemente immersi in acqua fredda per almeno 10 minuti. Il liquido va versato in piccole ciotole di vetro o plastica preventivamente pulite e ricoperto da un coperchio o da pellicola per alimenti. Dopo aver lasciato raffreddare il contenuto per circa un giorno, la capsula Petri artigianale è pronta.

# The fine line between art and science

by **Chiara Ceci**

**F**or thousands of years, science and art have shared an **intertwined** history and today, in museums all over the world, conservation scientists work closely with curators to authenticate, preserve, and restore artefacts. Many museums have state-of-the-art laboratories where they carry out innovative research; developing analytical techniques, preventive conservation, and treatment methodologies. Techniques used in this field are typically non-invasive and include the use of X-rays, spectroscopy and radiocarbon dating analysis. One of the most frequently used techniques is Raman spectroscopy, a rapid and non-invasive method to determine the chemical composition of an object.

Conservation scientists also develop and test new materials to preserve artworks. One great example of how science has supported an art conservation project is the story of the *Mary Rose*, the **flagship** of Henry VIII's navy ([link.pearson.it/7CBE1507](http://link.pearson.it/7CBE1507)). This wooden Tudor warship was built in 1510 and was **sunk** by the French 35 years later. The remains of the ship, and its 19,000 on-board artefacts were discovered, over 400 years later in 1971, and raised from the seabed in 1982. It took decades of conservation work to preserve this incredible piece of history.

Underwater, most of the **hull** was covered in **silt**, which had effectively sealed the ship and the artefacts on-board, creating anaerobic conditions that prevented their decay. When the ship was raised from the sea it was not possible to completely seal it, thus, the wood had to be sprayed regularly with chilled fresh water to stop it from drying out and consequently, shrinking and cracking. At the same time, the remains started to oxidise due to air exposure and were also attacked by bacteria and fungi. Preserving the *Mary Rose* was a great challenge, and thanks to highly advanced scientific knowledge, this incredible treasure can now be admired at the *Mary Rose* Museum, at the Portsmouth Historic Dockyard.

In 1994, scientists succeeded in finding a way to dry out the ship without causing any **shrinkage** - using polyethylene glycol (PEG), a new polymer for preserving waterlogged archaeological wood.



© Hulton-Deutsch Collection/CORBIS

Reclaiming *Mary Rose* ship

This polymer penetrates into cell wall layers, and binds to any remaining cellulose present in the wood via hydrogen bonds, and replaces water in the wood, thus preventing shrinkage of the material.

Another threat was the production of sulphuric acid, generated by the oxidation of sulphur, present in the wood, by atmospheric oxygen. To address this problem, the hull was treated with strontium carbonate nanoparticles, which react with sulphur to form stable strontium sulfates. The restoration of the *Mary Rose* has been one of the most complex programmes of this type and illustrates how modern scientific techniques have revolutionised the field of art conservation.

## VOCABULARY

<b>To intertwine</b>	Intrecciare, attorcigliare
<b>Flagship</b>	Nave ammiraglia
<b>To sink</b>	Affondare
<b>Hull</b>	Scafo
<b>Silt</b>	Limo
<b>Shrinkage</b>	Restringimento, contrazione

## AUDIO VERSION

by **Louise Jane Gourlay**

- Listen at: [link.pearson.it/EC010896](http://link.pearson.it/EC010896)

## 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 / **The fine line between art and science**

by **Chiara Ceci**

### READING & COMPREHENSION

#### Answer the question

1. What do conservation scientists do?
2. Why is Raman spectroscopy a useful technique for conservation scientists?
3. What enabled the Mary Rose to be preserved from decay?
4. What caused the production of sulphuric acid in the wood of the ship?

#### True or False

5. The Mary Rose was an English warship.  T  F
6. Polyethylene glycol is a polymer used to stop acid formation.  T  F
7. Once raised from the sea, the remains of the Mary Rose became susceptible to oxidation.  T  F

### REFINE YOUR ENGLISH

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

8. State of the art.
9. Work of art.

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

	WORD/EXPRESSION	ITALIAN DEFINITION
10.	Oxidation	
11.	Polymer	
12.	Hydrogen Bond	

## Scheda Didattica / **The fine line between art and science**

by **Chiara Ceci**

### TRADUZIONE

## **La linea sottile che separa arte e scienza**

Per migliaia di anni nel corso della storia, scienza e arte si sono intrecciate e oggi nei musei di tutto il mondo scienziati esperti della conservazione lavorano a stretto contatto con i curatori per verificare l'autenticità dei manufatti, conservarli e restaurarli. Molti musei hanno laboratori all'avanguardia dove la ricerca viene svolta in modo innovativo, sviluppando tecniche analitiche, metodologie di conservazione preventiva e interventi di trattamento. Le tecniche usate in questo campo di solito non sono invasive e includono l'impiego dei raggi X e l'utilizzo della spettroscopia e della datazione con il radiocarbonio. Una delle metodologie più frequentemente usate è la spettroscopia Raman, un procedimento rapido e non invasivo che serve per determinare la composizione chimica di un oggetto.

Gli scienziati esperti della conservazione hanno anche sviluppato e testato nuovi materiali per salvaguardare i manufatti. Un notevole esempio di come la scienza abbia contribuito a un progetto di conservazione artistica è la storia della *Mary Rose*, l'ammiraglia della flotta di Enrico VIII ([link.pearson.it/7CBE1507](http://link.pearson.it/7CBE1507)). Questa nave da guerra in legno di epoca Tudor venne costruita nel 1510 e fu affondata dai francesi 35 anni dopo. I resti della nave e i 19 000 manufatti che si trovavano a bordo sono stati riscoperti nel 1971 e recuperati dal fondale marino nel 1982. Successivamente sono stati necessari altri dieci anni di lavoro per conservare questo incredibile frammento di storia.

Sott'acqua, la maggior parte dello scafo venne ricoperta da limo che sigillò efficacemente la nave e i suoi manufatti a

bordo, generando condizioni anaerobiche che impedirono la decomposizione. Recuperando la nave dal mare, non è stato possibile sigillarla completamente e si è reso necessario spruzzare regolarmente il legno con acqua dolce molto fredda per ostacolarne l'essiccazione e di conseguenza la contrazione e la fessurazione. Allo stesso tempo i resti hanno incominciato a ossidarsi in seguito all'esposizione all'aria e sono stati anche attaccati da batteri e funghi. La salvaguardia della *Mary Rose* ha rappresentato una grande sfida e ora, grazie a conoscenze scientifiche molto avanzate, questo tesoro incredibile può essere ammirato al Mary Rose Museum, presso il Portsmouth Historic Dockyard, il cantiere navale storico di Portsmouth.

Nel 1994 gli scienziati sono riusciti a far asciugare lo scafo senza causarne la contrazione, servendosi di glicole polietilenico (PEG), un nuovo polimero usato per conservare reperti archeologici in legno trovati immersi nell'acqua. Questo polimero penetra negli strati delle pareti cellulari, si unisce a qualsiasi molecola di cellulosa rimasta mediante legami idrogeno e sostituisce l'acqua nel legno, riuscendo in questo modo a prevenire il restringimento del materiale.

Un'altra minaccia era costituita dall'acido solforico prodotto dall'ossidazione dello zolfo, presente nel legno, da parte dell'ossigeno atmosferico. Per risolvere questo problema lo scafo è stato trattato con nanoparticelle di carbonato di stronzio, che reagiscono con lo zolfo formando solfato di stronzio stabile. Il restauro della *Mary Rose* è stato uno dei progetti più complessi del suo genere e illustra in che modo le tecniche scientifiche moderne hanno rivoluzionato il campo della conservazione delle opere d'arte.

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



» Scheda Didattica / **The fine line between art and science**

**RISPOSTE**

1. Conservation scientists work with art curators to authenticate, preserve, and restore artefacts.
2. Raman spectroscopy is a rapid and non-invasive analytical technique, used to determine the chemical composition of an object.
3. The Mary Rose was preserved from decay, as on the seabed, most of the hull was covered in silt, which sealed the ship and the artefacts on-board, creating anaerobic conditions.
4. Sulphuric acid is produced when sulphur, present in the wood, is oxidised by oxygen in the atmosphere.
5. T    6. F    7. T
8. Qualcosa di moderno e avanzato.
9. Opera d'arte.

	WORD/EXPRESSION	ITALIAN DEFINITION
10.	Oxidation	Reazione accompagnata da perdita di elettroni
11.	Polymer	Macromolecola composta da una catena di monomeri legati tra di loro da legami covalenti.
12.	Hydrogen Bond	Interazione molecolare che si forma tra un atomo di idrogeno legato a un atomo molto elettronegativo (F, O, N) di una molecola e un atomo molto elettronegativo di un'altra molecola.

**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:** Analisi di un quadro con la tecnica Pixe (Particle Induced X-ray Emission)

**Credit:** © 2015 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

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)