



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



International  
Union of  
Crystallography



Partners for the International Year of Crystallography 2014

# La cristallografia conta, eccome!



Anno Internazionale della Cristallografia 2014





Published by the United Nations Educational,  
Scientific and Cultural Organization  
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France

© UNESCO 2013  
All rights reserved

Original title: Crystallography matters!

Coordinator/Editor: Susan Schneegans

Front cover photos : Aeroplane © Shutterstock/IM\_photo; Scientist in Africa @ FAO  
Back cover photo: Young family watching TV @ Shutterstock/Andrey\_Popov

Composed and printed  
in the workshops of UNESCO

The printer is certified Imprim'Vert®,  
the French printing industry's environmental initiative.

*Printed in France*

SC-2013/WS/9  
CLD 1251.13

Hanno contribuito alla traduzione in italiano: Benedetta Carrozzini, Roberto Centore, Carlotta Giacobbe,  
Mattia Giannini, Laura Loconte, Chiara Massera, Francesco Massimino, Consiglia Tedesco

# Cos'è la cristallografia?

I cristalli si trovano ovunque in natura. Sono particolarmente abbondanti nelle rocce come minerali (gemme, grafite, ecc.), ma si possono rinvenire anche altrove, come ad esempio nei fiocchi di neve, nel ghiaccio e nei grani di sale. Sin dal passato, gli studiosi sono stati incuriositi dalla bellezza dei cristalli, dalla loro forma simmetrica e dalla varietà dei colori. Questi primi cristallografi usarono la geometria per studiare la forma dei cristalli naturali.

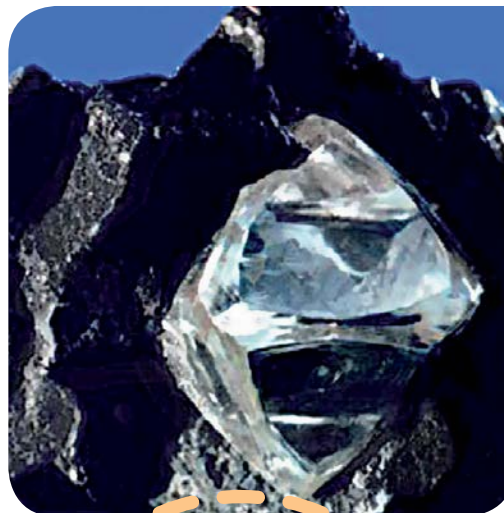
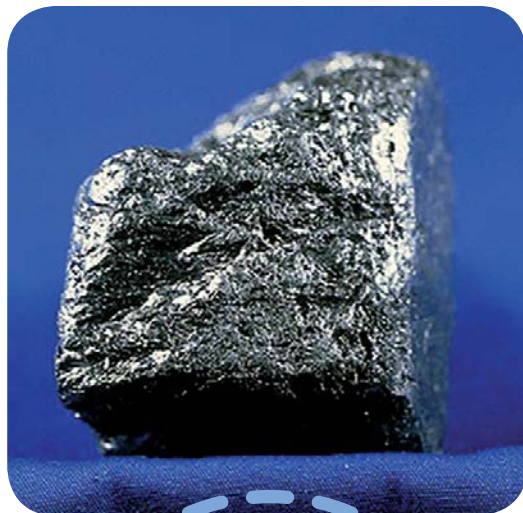
All'inizio del XX secolo si è scoperto che i raggi X potevano essere usati per "vedere" la struttura della materia in maniera non distruttiva. È l'alba della moderna cristallografia. I raggi X sono stati scoperti nel 1895. Sono raggi non visibili all'occhio umano. Quando i raggi X colpiscono un oggetto, gli atomi di cui l'oggetto è costituito diffondono i raggi X. I cristallografi hanno scoperto che i cristalli, a causa della loro struttura atomica ordinata, diffondono i raggi X solo in alcune ben definite direzioni. Misurando la direzione e l'intensità dei raggi diffratti gli scienziati sono stati in grado di ottenere una immagine tridimensionale della struttura di un cristallo a livello atomico. I cristalli sono candidati ideali per studiare la struttura della materia a livello atomico o molecolare, essendo solidi tridimensionali caratterizzati da una disposizione regolare e spesso altamente simmetrica di atomi.

Grazie alla cristallografia a raggi X, gli scienziati possono studiare i legami chimici che uniscono gli atomi. Basti pensare alla grafite e al diamante: opaca e tenera la prima, trasparente e duro il secondo, nelle mine delle matite la prima, in gioielleria il secondo... difficilmente possono essere considerati simili! Eppure grafite e diamante sono parenti stretti, chimicamente parlando, sono entrambi formati da solo carbonio. Le proprietà peculiari di questi materiali sono legate proprio ai legami tra gli atomi, che, ad esempio, donano durezza e lucentezza al diamante. Sappiamo tutto questo grazie alla cristallografia a raggi X.

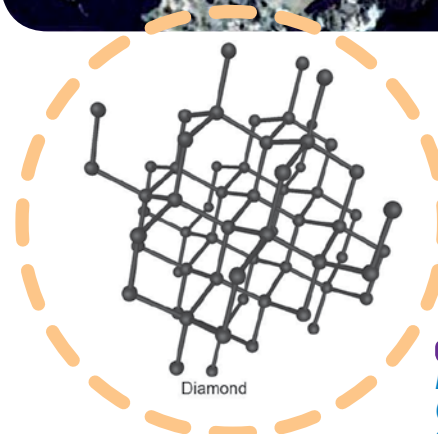
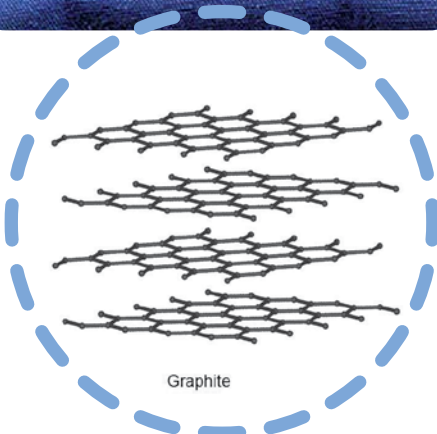
All'inizio la cristallografia a raggi X venne usata soltanto per indagare cristalli solidi, con una disposizione ordinata di atomi, fornendo informazioni sulla struttura dei minerali, per esempio, e su molti altri composti, come il sale o lo zucchero, permettendo addirittura di studiare il ghiaccio, ma solo finché non fondeva.



I fiocchi di neve sono cristalli. La loro simmetria esagonale deriva dal modo in cui le molecole d'acqua sono legate le une alle altre. Immagine: Wikipedia



Un blocco di grafite (a sinistra) ed un diamante grezzo (a destra). Questi due cristalli appaiono così diversi ma sono in realtà parenti stretti, poiché entrambi composti da carbonio puro. Ciò che conferisce al diamante la sua lucentezza è la sua abilità di diffondere la luce, in virtù della struttura dei suoi legami chimici. Foto: Wikipedia.



La struttura cristallina della grafite (a sinistra) è completamente differente da quella del diamante. © IUCr

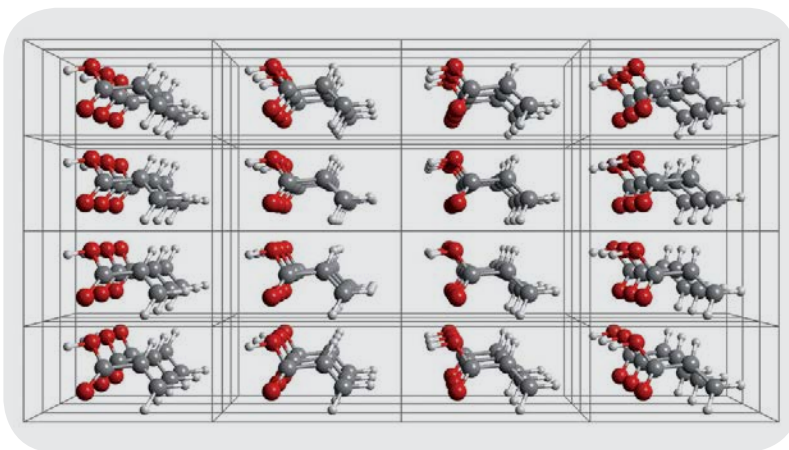


Immagine 3D di una struttura cristallina. In un cristallo, gli atomi, gruppi di atomi, ioni o molecole, hanno una organizzazione periodica e regolare nelle tre dimensioni.

© IUCr

Questo è dovuto al fatto che, in un liquido, il movimento delle molecole rende impossibile misurare un segnale diffratto che possa essere interpretato. I cristallografi hanno scoperto che è possibile studiare materiale biologico, come le proteine e il DNA, creandone cristalli. Ciò ha esteso il campo della cristallografia alla biologia ed alla medicina. La scoperta è stata resa possibile dall'aumento della potenza dei computer, che ha permesso di costruire modelli strutturali di questi cristalli molto complessi.

Dopo 100 anni di continuo sviluppo, la cristallografia a raggi X è diventata la principale tecnica per lo studio di strutture atomiche e le relative proprietà dei materiali.

Essa è, oggi, il fulcro dei progressi in molti campi delle scienze. Nuovi metodi cristallografici, vengono via via introdotti e nuove sorgenti (elettroni, neutroni e luce di sincrotrone) sono ormai lungamente disponibili. Questi progressi permettono ai cristallografi di studiare la struttura atomica anche di oggetti che non sono cristalli perfetti, inclusi i quasicristalli (v. riquadro) e i cristalli liquidi (v. foto della televisione a pag. 4).

Lo sviluppo di strumentazioni capaci di generare raggi X più brillanti ed energetici ha rivoluzionato la cristallografia. Grandi laboratori internazionali di ricerca, come i sincrotroni, vengono utilizzati dai cristallografi in ambiti quali biologia, chimica, scienza dei materiali, fisica, archeologia e geologia. Grazie all'utilizzo di luce da sincrotrone un archeologo potrà confrontare manufatti di decine di migliaia di anni e, per esempio, un geologo analizzare e datare meteoriti lunari e rocce.

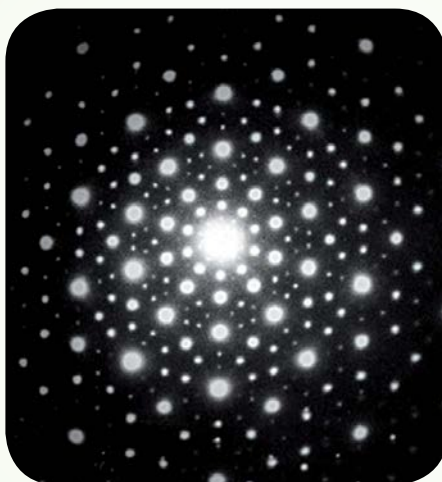
## QUASI-CRISTALLI: LA SFIDA ALLE LEGGI DELLA NATURA

Nel 1984 Dan Shechtman scoprì alcuni cristalli in cui gli atomi erano assemblati secondo uno schema non rigorosamente periodico, sfidando l'ordine costituito delle ben note e conclamate leggi della simmetria dei cristalli. Fino ad allora si pensava che solo forme geometriche con 1, 2, 3, 4 o 6 lati potessero trovare posto nei cristalli, poiché solamente questi poligoni possono essere ripetuti nelle tre dimensioni.

Quando Dan Shechtman osservò al microscopio elettronico una lega di alluminio e manganese scoprì la presenza di pentagoni, poligoni a CINQUE lati. Questi "fuori legge" iniziarono ad essere conosciuti come quasi-cristalli. La sconvolgente scoperta di Dan Shechtman gli ha fruttato il Premio Nobel per la Chimica nel 2011.

Le proprietà dei quasi-cristalli, per effetto della disposizione degli atomi, sono alquanto insolite: sono duri e fragili quasi come il vetro, ma resistenti alla corrosione e all'adesione. Trovano impiego in diversi ambiti industriali, ad esempio nella produzione di padelle anti-aderenti.

Gli artigiani marocchini (Maalems) conoscono da secoli gli schemi ripetuti nei quasi-cristalli. Settecento anni separano le immagini mostrate in alto. A sinistra è mostrata la geometria di un quasi-cristallo identificata da Dan Shechtman nel 1984. A destra vediamo un pregiato mosaico (zellige) nella madrasa di Al-Attarine a Fez (Marocco), risalente al XIV secolo. Le due immagini con i loro schemi pentagonali si assomigliano moltissimo.



Fonte: Immagine di diffrazione, *Physical Review Letters* (1984), vol. 53, pages 1951–1953; porzione di mosaico, Associazione di Cristallografia del Marocco

# Qualche cenno storico

Nel corso della storia, le persone sono state affascinate dalla bellezza e dal mistero dei cristalli. Duemila anni fa, il naturalista romano Plinio il Vecchio rimase ammirato dalla 'regolarità dei prismi a sei facce di cristalli di rocca'. A quel tempo, la cristallizzazione dello zucchero e del sale era già nota alle antiche civiltà indiane e cinesi: in India lo zucchero veniva cristallizzato dal succo di canna e, in Cina, si faceva bollire la salamoia per avere il sale puro. Il processo di cristallizzazione si è anche sviluppato in Iraq durante l'ottavo secolo d.C. Due secoli più tardi, gli artigiani dell'Egitto e dell'Andalusia, in Spagna, divennero esperti nella tecnica di taglio dei cristalli di rocca per la produzione di utensili e oggetti decorativi, come la scatola riprodotta nella foto. Nel 1611, il matematico e astronomo tedesco Giovanni Keplero fu il primo ad osservare la forma simmetrica dei fiocchi di neve e a dedurre da questa loro struttura interna. Meno di 200 anni dopo, il mineralista francese René Just Haüy scoprì la legge geometrica della cristallizzazione.

Nel 1895 William Conrad Röntgen scoprì i raggi X e per questo fu insignito del premio Nobel per la Fisica nel 1901. Fu però Max von Laue, insieme ai suoi collaboratori, a realizzare che i raggi X potevano attraversare un cristallo e venire a loro volta diffratti in particolari direzioni, in base alla natura del cristallo. von Laue ottenne il premio Nobel per la Fisica nel 1914 per questa scoperta.

Altrettanto importante fu la scoperta fatta da William Henry Bragg e William Lawrence Bragg, padre e figlio, i quali intuirono che i raggi X potevano essere utilizzati per determinare l'esatta posizione degli atomi in un cristallo e descrivere la sua struttura tridimensionale. Conosciuta come "Legge di Bragg", questa scoperta ha largamente contribuito al moderno sviluppo di tutte le scienze naturali poiché la struttura atomica è alla base delle proprietà chimiche, fisiche e biologiche della materia. I due Bragg furono insigniti del premio Nobel per la Fisica nel 1915.

Tra il 1920 e 1960, la Cristallografia a raggi X ha contribuito a svelare alcuni dei misteri sulle strutture importanti per la vita, con importanti ripercussioni nel campo della medicina. Dorothy Hodgkin ha risolto la struttura di numerose molecole biologiche, tra le cui colesterolo (1937), penicillina (1946), vitamina B12 (1956) e insulina (1969). Le fu conferito il premio Nobel per la Chimica nel 1964. Sir John Kendrew e Max Perutz furono i primi a ricavare la struttura di una proteina, guadagnandosi il premio Nobel per la Chimica nel 1962. Da quelle scoperte rivoluzionarie a oggi, la Cristallografia a raggi X ha aiutato a risolvere la struttura di più di 90,000 proteine, acidi nucleici e molecole di rilevanza biologica.

Una delle pietre miliari più significative del XX secolo fu la scoperta della struttura cristallina del DNA ad opera di James Watson e Francis Crick. Forse meno conosciuto è il fatto che questa scoperta fu ottenuta sulla base di esperimenti di diffrazione condotti da Rosalind Franklin, che morì prematuramente nel 1958. La scoperta della 'doppia elica' aprì la via alla cristallografia delle macromolecole e delle proteine, strumenti essenziali delle odierne scienze mediche e biologiche. Watson e Crick ricevettero il Premio Nobel per la Fisiologia o Medicina nel 1962, insieme con Maurice Wilkins, che aveva lavorato con Rosalind Franklin.

La cristallografia e i metodi cristallografici hanno continuato a svilupparsi negli ultimi cinquant'anni; nel 1985, per esempio, il Premio Nobel per la Chimica fu assegnato a Herb Hauptman e a Jerome Karle per i loro successi nello sviluppo di nuovi metodi per la determinazione delle strutture dei cristalli. Come esito di questo, furono risolte le strutture cristalline di un numero sempre maggiore di composti.

Premi Nobel più recenti sono stati assegnati a Venkatraman Ramakrishnan, Thomas Steitz e Ada Yonath (2009, v. pag. 8), a Andre Geim e Konstantin Novoselov (2010) per un lavoro rivoluzionario sul grafene, il primo di una nuova classe di materiali cristallini bidimensionali, con proprietà meccaniche ed elettroniche uniche, a Dan Shechtman (2011) per la scoperta dei quasicristalli (v. riquadro a pag. 2) e a Robert Lefkowitz e Brian Kobilka (2012) per uno studio che ha rivelato a fondo il funzionamento di una importante famiglia di recettori cellulari che governa gran parte delle funzioni del corpo umano.



Cofanetto tempestato di pietre preziose realizzato in Egitto intorno al 1200 d.C.  
 © Museo di Cluny, Francia

Nel corso del secolo passato sono 45 in tutto gli scienziati insigniti del Premio Nobel per lavori che sono direttamente o indirettamente legati alla cristallografia. Purtroppo non abbiamo lo spazio per elencarli tutti in questa brochure, ma è grazie a tutti i loro singoli contributi che la cristallografia è divenuta basilare per tutte le scienze. Al giorno d'oggi, la cristallografia rimane ancora un terreno fertile per nuovi e promettenti studi nell'ambito della ricerca fondamentale.

# Perché i paesi hanno bisogno di investire nella cristallografia

La cristallografia è alla base dello sviluppo di gran parte dei **nuovi materiali**, da prodotti di uso quotidiano, quali schede di memoria per i computer, televisioni a schermo piatto a componenti per automobili e aeroplani. I cristallografi non studiano solo la struttura dei materiali, ma usano le loro conoscenze anche per modificarne la struttura in modo che questi abbiano nuove proprietà o si comportino diversamente. I cristallografi possono anche stabilire le "impronte digitali" dei nuovi materiali. Quando una compagnia registra un brevetto queste "impronte digitali" sono la prova dell'unicità della nuova sostanza.

Infatti, la cristallografia ha molte applicazioni. Essa pervade la nostra vita quotidiana ed è alla base dello sviluppo di nuovi prodotti, nell'industria agro-alimentare, aeronautica, automobilistica, cosmetica, informatica, elettromeccanica, farmaceutica e infine mineraria. I seguenti sono solo alcuni esempi.

La **mineralogia** rappresenta il settore di applicazione più antico. La cristallografia a raggi X è stato il metodo principale per la determinazione della struttura di minerali e metalli sin dagli anni '20 del secolo scorso. Quasi tutto quello che conosciamo sulle rocce, le formazioni geologiche e la storia della Terra è basato sulla cristallografia. Finanche la nostra conoscenza di "ospiti spaziali" come i meteoriti ci deriva dalla cristallografia. Tale conoscenza è naturalmente essenziale per l'industria mineraria e per qualsiasi altra industria che intenda sfruttare risorse custodite nelle profondità della terra, come acqua, petrolio, gas.

L'ideazione di **nuovi farmaci** dipende fortemente dalla cristallografia. Un'azienda farmaceutica che voglia sviluppare un nuovo farmaco per combattere un batterio o un virus specifico deve prima individuare una molecola in grado di bloccare le proteine (enzimi) coinvolte nell'attacco alle cellule umane. Conoscendo la forma precisa della proteina permette ai ricercatori di ideare farmaci, che possono legarsi ai siti attivi della proteina e quindi disattivare la funzione proteica dannosa.

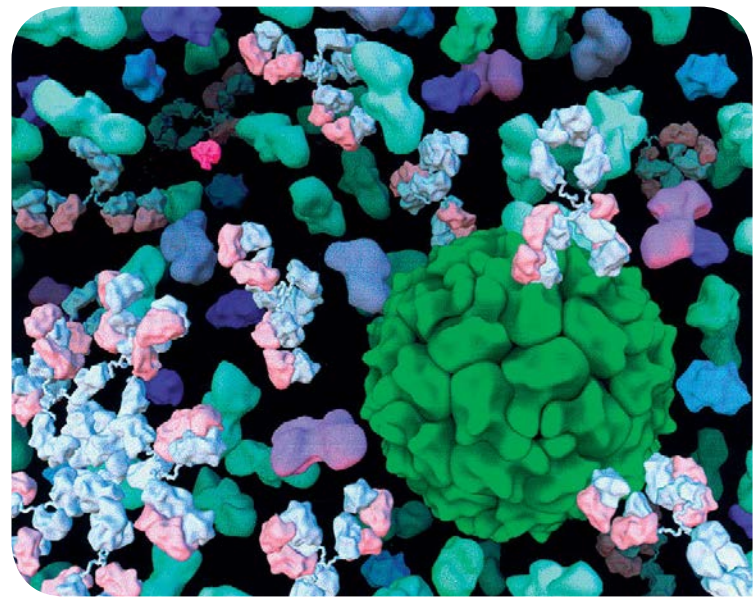
La cristallografia è essenziale per distinguere diverse forme cristalline di uno stesso farmaco, dal momento che queste possono presentare diversa solubilità e influenzare l'efficacia del farmaco. Questo è molto importante per l'industria dei farmaci generici in Asia e Africa specialmente, dove farmaci anti-HIV sono prodotti con licenze obbligatorie per renderle accessibili ai più poveri.

*Nuovi materiali sono in fase di sviluppo per produrre abbigliamento "intelligente": nuovi tessuti, che sono in grado di assorbire aria o calore, a seconda se chi li indossa sta sudando o ha i brividi. Gli indumenti possono essere dotati di sensori per controllare la temperatura corporea, il respiro o il battito cardiaco, e questi dati possono essere inviati sul telefonino di chi li indossa. Potranno essere ideati indumenti in grado di rivelare pericoli come gas tossici, batteri nocivi o temperature estreme. I cristallografi sono in grado di identificare le proprietà necessarie per sviluppare questi nuovi materiali.*

©Sharee Basinger/  
publicdomainpictures.net



*Oggi i cristallografi sono in grado di studiare una grande varietà di materiali, tra cui i cristalli liquidi. Gli schermi a cristalli liquidi sono usati per i monitor ultrapiatti di televisori, computer, telefoni cellulari, orologi digitali e così via. I cristalli liquidi non producono luce di per sé ma attingono da una sorgente esterna - come la luce proveniente dal retro di un televisore - per formare immagini con un ridotto consumo di energia. @ Shutterstock/Andrey\_Popov*

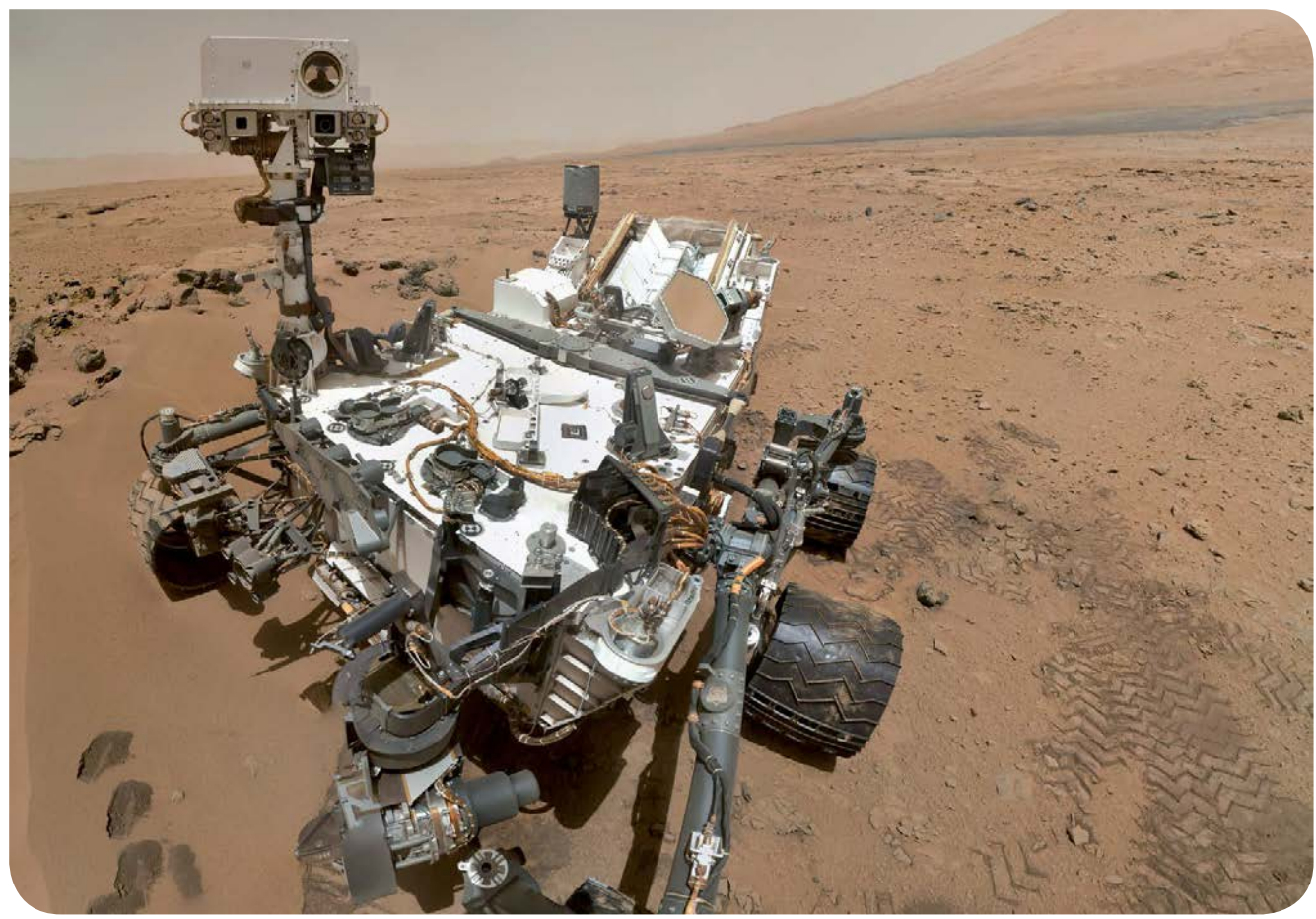


*Il burro di cacao, il più importante ingrediente del cioccolato, forma sei tipi differenti di cristalli, ma solo uno fonde piacevolmente in bocca ed ha quella lucentezza superficiale e croccantezza che lo rendono così buono. Purtroppo questo cristallo "goloso" non è così stabile e tende a trasformarsi nella forma più stabile, opaca, con una tessitura morbida, che fonde lentamente in bocca, producendo una sensazione sgradevole e sabbiosa in bocca. Fortunatamente la trasformazione è lenta, ma se il cioccolato è conservato per lungo tempo in un luogo tiepido, può formare delle "infiorescenze", sottili residui bianchi risultanti dalla ri-cristallizzazione del burro di cacao. I mastri cioccolatai usano complessi processi di cristallizzazione per ottenere la forma cristallina desiderata dai buongustai e dai consumatori. Foto: Wikipedia.*



*Anticorpi legati ad un virus. La cristallografia è usata per controllare la qualità dei farmaci, tra cui gli anti-virali, durante la produzione di massa per assicurare il soddisfacimento delle rigorose linee guida legate a salute e sicurezza. © IUCr*

*Nell'ottobre 2012 il veicolo esplorativo Curiosity ha adoperato la cristallografia a raggi X per analizzare campioni del suolo di Marte! La NASA ha equipaggiato il veicolo con un diffrattometro. I risultati hanno suggerito che il suolo marziano assomiglia al suolo basaltico segnato dalle intemperie dei vulcani delle Hawaii. Foto: NASA*



# Chi organizza l'Anno Internazionale della Cristallografia?

L'Anno è organizzato congiuntamente dall'Unione Internazionale di Cristallografia (IUCr) e dall'UNESCO. Esso sarà complementare ad altri due anni internazionali gestiti dall'UNESCO all'interno del sistema delle Nazioni Unite, facendo seguito all'Anno Internazionale della Chimica (2011) e fornendo un'introduzione al previsto Anno Internazionale della Luce (2015). L'UNESCO sta attuando tutti i tre anni attraverso il suo programma internazionale per la promozione delle Scienze di base.

## Perché adesso?

L'Anno Internazionale della Cristallografia intende commemorare il centenario della nascita della cristallografia a raggi X, grazie al lavoro di Max von Laue e William Henry e William Lawrence Bragg. Il 2014 celebra anche il 50° anniversario di un altro premio Nobel, assegnato a Dorothy Hodgkin per il suo lavoro sulla vitamina B12 e la penicillina (v. pag. 3 - *Qualche cenno storico*).

Anche se la cristallografia è alla base di molte altre scienze moderne, essa rimane relativamente sconosciuta al grande pubblico. Uno degli obiettivi dell'Anno sarà quello di promuovere l'educazione e la sensibilizzazione del pubblico attraverso una serie di attività (v. pag. 9, *A chi è diretto l'Anno Internazionale della Cristallografia?*).

I cristallografi sono attivi in più di 80 paesi, 53 dei quali sono membri dell'Unione Internazionale di Cristallografia (v. mappa). L'Unione garantisce la parità di accesso alle informazioni e ai dati per tutti i suoi membri e promuove la cooperazione internazionale.

Vi è la necessità di allargare la base della cristallografia, per fornire ai paesi in via di sviluppo le competenze in questo campo, fondamentale per il loro sviluppo scientifico ed industriale. Ciò è tanto più urgente in quanto la cristallografia avrà un ruolo chiave nella transizione verso lo sviluppo sostenibile nei prossimi decenni.

### Paesi aderenti all'Unione Internazionale di Cristallografia





# Le sfide per il futuro

Nel 2000, i governi del mondo hanno adottato gli Obiettivi di Sviluppo del Millennio, che definisce specifici obiettivi per ridurre entro il 2015 la povertà estrema e la fame, migliorando l'accesso all'acqua potabile e costruendo reti fognarie, per frenare la mortalità infantile e migliorare la salute materna, oltre ad altre sfide.

I governi stanno definendo un nuovo gruppo di obiettivi che determineranno l'agenda di sviluppo dopo il 2015. Di seguito alcuni esempi di come la cristallografia può contribuire a sviluppare quest'agenda.

## Le sfide per l'alimentazione

Si prevede che la popolazione mondiale cresca da 7 miliardi nel 2011 a 9,1 miliardi nel 2050. La combinazione di una crescita rapida della popolazione e di una dieta maggiormente basata sulla carne e prodotti caseari rispetto al passato potrà portare all'aumento della domanda di cibo del 70% nel 2050. Questo rappresenta una delle sfide più importanti per l'agricoltura.

*Metodiche cristallografiche avanzate indirizzano la ricerca nei settori agro-alimentari. Per esempio, la cristallografia può essere usata per analizzare i suoli. Una delle cause più gravi di deterioramento dei suoli è la salinizzazione, che può avvenire naturalmente o essere indotta dalle attività dell'uomo.*

*Studi strutturali sulle proteine delle piante possono aiutare a sviluppare colture più resistenti ad ambienti salini.*

*La cristallografia può contribuire allo sviluppo di cure per malattie delle piante e degli animali, come ad esempio il cancro batterico che colpisce diverse colture tra cui i pomodori, o lo sviluppo di vaccini per prevenire malattie come l'influenza aviaria o suina.*

*Inoltre gli studi cristallografici sui batteri sono importanti per la produzione di cibi derivati da latte, carne, verdure o altre piante.*

## Le sfide per l'acqua

Sebbene il mondo ha recentemente raggiunto l'Obiettivo di Sviluppo del Millennio relativo al dimezzamento del rapporto di persone senza accesso ad acqua potabile entro il 2015, i paesi dell'Africa sub-sahariana e i paesi arabi sono considerevolmente indietro, secondo il World Water Development Report 2012 stilato dalle Nazioni Unite. Lo stesso obiettivo per l'implementazione delle reti fognarie sembra al lo stato attuale irraggiungibile, dal momento che metà della popolazione nei paesi in via di sviluppo non ha ancora a disposizione una rete di fognature. Inoltre si stima che il numero di persone nelle città che non hanno accesso all'acqua potabile e alla rete fognaria sia addirittura aumentato del 20% da quando nel 2000 sono stati definiti gli Obiettivi di Sviluppo del Millennio. Si prevede che la popolazione urbana raddoppi da 3,4 miliardi nel 2009 fino a raggiungere 6,3 miliardi nel 2050.

*La cristallografia può aiutare a migliorare la qualità dell'acqua delle comunità più povere, per esempio identificando nuovi materiali in grado di purificare l'acqua per mesi, come "nano"spugne (per i filtri dei rubinetti) e "nano"compresse. Può anche aiutare a sviluppare soluzioni ecologiche per migliorare il trattamento delle acque di scarico.*

## Le sfide per l'energia

Le risorse energetiche, pur non facendo parte degli Obiettivi di Sviluppo del Millennio, saranno un punto cruciale nell'agenda dello sviluppo dopo il 2015. Nel settembre 2011, il segretario generale delle Nazioni Unite ha lanciato il programma Energia Sostenibile per Tutti. Esso giunge in un momento di grande preoccupazione circa l'impatto di economie basate sui combustibili fossili sul clima del pianeta e di consapevolezza del bisogno di accelerare la conversione a fonti di energia sostenibili. Secondo l'Agenzia Internazionale per l'Energia, le emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) sono aumentate del 5% fino a raggiungere 30,6 gigatonnellate (Gt) tra il 2008 e il 2010, nonostante la crisi finanziaria mondiale. Se si vuole mantenere il riscaldamento globale a 2°C in questo secolo, le emissioni di CO<sub>2</sub> dal settore energetico non devono eccedere 32 Gt entro il 2020.

*La cristallografia può identificare nuovi materiali in grado di purificare l'acqua per mesi con una sola applicazione, come nanospugne (per i filtri dei rubinetti) e "nano"compresse. © Shutterstock/S\_E*



È previsto che il consumo di energia globale aumenti del 50% tra il 2007 e il 2015, l'84% di questo aumento sarà imputabile a paesi non-OCSE. Nel 2009 1,4 miliardi di persone non hanno ancora l'energia elettrica. Si prevede che la richiesta di energia da sorgenti rinnovabili aumenti del 60% entro il 2035.

*La cristallografia aiuta a sviluppare prodotti, come materiali isolanti, che impediscono la dispersione del calore e riducono l'emissione di anidride carbonica (oltre a ridurre la bolletta!). Può aiutare a sviluppare nuovi materiali per ridurre il costo dei pannelli solari, impianti eolici e batterie rendendoli allo stesso tempo più efficienti, riducendo gli sprechi e migliorando l'accessibilità a tecnologie eco-sostenibili.*

### Per un'industria chimica verde

Rendere eco-compatibile l'industria chimica è un obiettivo fondamentale per rendere eco-sostenibile l'economia globale. L'industria chimica produce più di 70000 prodotti diversi dalle plastiche ai fertilizzanti, ai detersivi sino ai farmaci. Dipende sensibilmente dal petrolio, di cui consuma il 10% della produzione globale per ottenere l'80-90% dei suoi prodotti. Pertanto, l'industria chimica risulta affamata di risorse e di energia.

Inoltre, molti solventi e catalizzatori sono tossici e lo smaltimento di rifiuti chimici è complesso e costoso. Sostanze tossiche o cancerogene sono attualmente rilasciate nell'aria, nell'acqua e nel suolo. Secondo il Programma Ambientale delle Nazioni Unite, nel 2000 l'Europa Occidentale ha prodotto 42 milioni di tonnellate di rifiuti tossici, di cui 5 milioni sono stati esportati nell'anno successivo.

*La cristallografia può contribuire allo sviluppo di materiali di costruzione ecologici nei paesi sviluppati e in via di sviluppo. Può aiutare anche a ridurre l'inquinamento sostituendo i solventi dannosi con solventi "verdi" basati su liquidi ionici o anidride carbonica. Può aiutare a ridurre gli scarti delle estrazioni e i relativi costi fornendo metodi che consentono l'estrazione solo di ciò che è utile.*

### Le sfide per la salute

Le sfide per la salute risulteranno insormontabili nei decenni futuri. Non c'è ancora un vaccino o una terapia efficace per l'HIV/AIDS, la febbre dengue o la malaria, che continuano a mietere vittime specie nei paesi in via di sviluppo.

Molti problemi sanitari nei paesi in via di sviluppo sono legati alla mancanza di accesso ad acqua pulita o alla mancanza di una rete fognaria, incluse malattie gastrointestinali come il colera o malattie croniche come la scistosomiasi, con almeno il 90% dei casi riportati in Africa.

E in ogni caso i paesi in via di sviluppo sono anche esposti agli stessi problemi di salute cronici dei paesi sviluppati, come disturbi cardiaci, cancro e, sempre di più, diabete (v. foto).

Un altro serio problema sanitario che riguarda sia i paesi ricchi che quelli poveri include la comparsa di nuovi germi patogeni e la crescente resistenza dei batteri ai trattamenti medici.

*Per esempio, la cristallografia può aiutare a contrastare la crescente resistenza dei batteri agli antibiotici. Insieme a Venkatraman Ramakrishnan e Thomas Steitz, la cristallografa Ada Yonath è riuscita a determinare la struttura del ribosoma batterico e il modo in cui è distrutto dagli antibiotici. I ribosomi sono responsabili della produzione di tutte le proteine nelle cellule viventi, incluse quelle umane, vegetali o batteriche. Se la funzione del ribosoma è impedita, la cellula muore. I ribosomi sono il bersaglio principale degli antibiotici, dal momento che gli antibiotici sono in grado di attaccare l'attività ribosomiale dei batteri nocivi, lasciando intatta quella dei ribosomi umani. Nel 2008 la Prof. Yonath ha ricevuto il premio L'Oréal-UNESCO Women in Science per il suo lavoro e tre anni più tardi tutti e tre gli scienziati hanno ricevuto il premio Nobel.*

*Le zone tropicali sono dotate di una ricca biodiversità che spesso rimane inesplorata. La cristallografia può aiutare le nazioni ad identificare le proprietà di piante indigene allo scopo di sviluppare nuovi farmaci, prodotti per la cura della pelle, rimedi erboristici, ecc.*

# A chi è diretto l'Anno Internazionale della Cristallografia (IYCr2014)?

## IYCr2014 è diretto ai governi

Interagendo con loro e suggerendo indirizzi politici per:

- ❖ finanziare la realizzazione e la messa in opera di almeno un centro nazionale di cristallografia per nazione;
- ❖ sviluppare la collaborazione con centri di cristallografia esteri oltre che sorgenti di sincrotrone e altri grandi laboratori;
- ❖ promuovere l'uso della cristallografia nella fase di ricerca e sviluppo;
- ❖ promuovere la ricerca in ambito cristallografico;
- ❖ introdurre la cristallografia negli insegnamenti scolastici e nei programmi universitari o di modernizzare gli insegnamenti esistenti.

Inoltre sono in programma una serie di summit per mettere in evidenza le difficoltà nel condurre ricerca di alto livello nelle diverse parti del mondo e identificare soluzioni a questi problemi. Queste conferenze faranno incontrare nazioni che sono divise per lingua, etnia, religione e scelte politiche per delineare le future prospettive per la scienza, la tecnologia e lo sviluppo industriale, e per identificare nuove opportunità di lavoro.

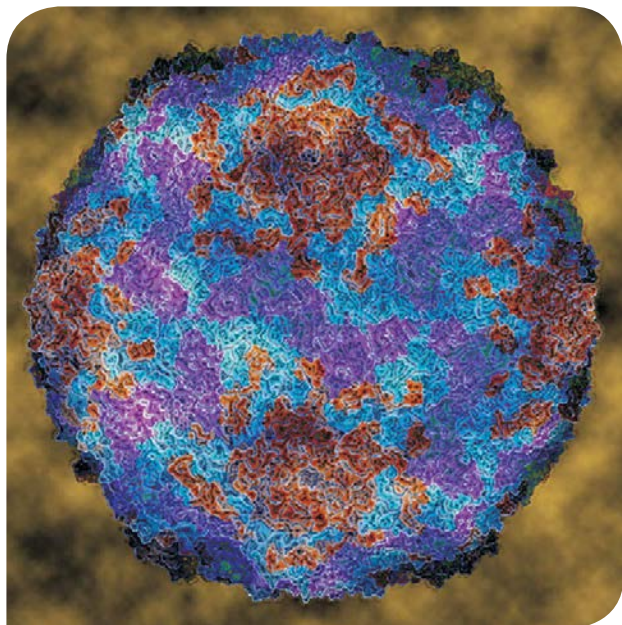
## IYCr2014 è diretto alle scuole e alle università

Per introdurre l'insegnamento della cristallografia dove è ancora assente, per esempio grazie a:

- ❖ laboratori itineranti allestiti dall'Unione Internazionale di Cristallografia, che dimostreranno il funzionamento dei diffrattometri in Asia, Africa e America Latina, in collaborazione con le ditte produttrici;
- ❖ l'azione *Crystallography Initiative in Africa* attualmente in corso e destinata alle università (v. riquadro a pag. 10), che sarà intensificata ed estesa ai paesi dell'Asia e dell'America Latina, dove è carente l'insegnamento della cristallografia;
- ❖ esperimenti interattivi e concorsi per le scuole primarie e secondarie;
- ❖ progetti destinati agli alunni delle elementari per applicare le conoscenze di cristallografia, fisica e chimica nella risoluzione di problemi;
- ❖ una mostra itinerante destinata alle scuole e alle università sulla Cristallografia e l'Arte nel mondo Arabo-Islamico, organizzata dall'Associazione di Cristallografia del Marocco (v. riquadro a pag. 12). La mostra consentirà anche di effettuare esperienze dimostrative di cristallizzazione e di diffrazione ai raggi X usando un diffrattometro portatile.

*Secondo le stime dell'International Diabetes Federation, negli ultimi vent'anni il numero di persone in tutto il mondo con diabete è aumentato da 30 milioni a 230 milioni. Sette fra i primi dieci paesi con maggior numero di malati sono paesi in via di sviluppo o economie emergenti, incluse Cina e India. Nei Caraibi e in Medio Oriente circa il 20% degli adulti soffre di diabete. Se la struttura dell'insulina naturale, prodotta dal pancreas, non fosse stata determinata dalla cristallografia a raggi X, sarebbe impossibile produrre insulina umana biosintetica, farmaco salvavita per i diabetici. Foto Wikipedia*





Virus. Non è possibile ideare nuovi farmaci senza conoscere la struttura delle proteine in gioco. © IUCr

## IYCr2014 è diretto a tutti

Per aumentare la consapevolezza su come la cristallografia sia alla base della maggior parte degli avanzamenti tecnologici della nostra società, ma anche il ruolo svolto nella conservazione dei beni culturali e nella storia dell'arte, grazie a:

- ❖ conferenze aperte al pubblico organizzate dai membri dell'Unione Internazionale di Cristallografia su temi come la fondamentale importanza della struttura delle proteine per lo sviluppo di farmaci, cristallografia e simmetria nell'arte o analisi cristallografiche di manufatti e materiali antichi;
- ❖ sponsorizzazione di mostre che illustrino l'utilità e le meraviglie della cristallografia;
- ❖ l'invio di articoli a stampa, televisione e altri mezzi di comunicazione sul contributo della cristallografia all'economia globale.

## PROMOZIONE DELLA CRISTALLOGRAFIA PRESSO LE UNIVERSITÀ AFRICANE



©Serah Kimani

Una delle missioni principali dell'Unione Internazionale di Cristallografia è di fornire a docenti universitari e dottorandi nei paesi in via di sviluppo corsi di formazione per l'insegnamento della cristallografia e l'applicazione di metodi cristallografici nell'attività di ricerca.

In collaborazione con le università del Sud Africa e con l'Associazione Sud Africana di Cristallografia, l'Unione Internazionale di Cristallografia ha organizzato una serie di corsi nei paesi africani di lingua inglese. Tale collaborazione ha concesso una borsa di studio a due studenti eccezionali del Kenia, Serah Kimani (in foto) e Ndoria Thuku, per consentire loro di completare le rispettive tesi in Sud Africa. La tesi di Serah Kimani ha richiesto la determinazione di oltre 40 strutture cristalline. Nel 2012 ha assunto un incarico presso l'Università di Città del Capo. La tesi di Ndoria Thuku consisteva nel determinare la struttura delle proteine del batterio *Rhodococcus rhodochrous*, usato in agricoltura per promuovere la salute delle piante. Concluso il dottorato nel 2012, il Dr Thuku è post-doc presso la divisione di Biochimica Medica dell'Università di Città del Capo.

Nel 2011, l'Unione Internazionale di Cristallografia ha messo a punto un programma ambizioso per i paesi dell'Africa sub-sahariana. Noto come "Crystallography Initiative for Africa", il programma non solo prepara docenti e dottorandi in cristallografia, ma fornisce alle università partecipanti diffrattometri del valore di 80000-150000 euro ciascuno, per renderle in grado di condurre ricerche di livello internazionale. La collaborazione con Bruker France, una ditta privata, è estremamente importante. Bruker France fornirà diffrattometri perfettamente funzionanti a tutte le università selezionate dall'Unione Internazionale di Cristallografia. L'Unione Internazionale di Cristallografia copre i costi della spedizione presso ciascuna università. In cambio, l'università ricevente coprirà i costi per la manutenzione del diffrattometro e delle relative apparecchiature, come i computer e i tubi a raggi X.

## IUCr2014 è diretto alla comunità scientifica

Per promuovere la collaborazione internazionale tra gli scienziati in tutto il mondo, dando importanza alle collaborazioni Nord-Sud, attraverso

- \* il lancio di una nuova rivista di cristallografia open-access, che sarà chiamata *IUCrJ*;
- \* progetti di ricerca congiunti che prevedono la partecipazione delle sorgenti di sincrotrone sia nei paesi sviluppati che in via di sviluppo, come la sorgente di sincrotrone in Brasile o SESAME in medio Oriente, nata da un progetto UNESCO (v. foto pag. 14);
- \* riunioni per cercare di identificare il migliore modo per conservare i dati diffrattometrici misurati presso i laboratori di cristallografia e le sorgenti di radiazione di sincrotrone o neutroni.



Copertina del primo numero del nuovo giornale ad accesso libero, disponibile all'indirizzo: [www.iucrj.org](http://www.iucrj.org).

Il primo corpo insegnante ad essere formato sull'uso di questi strumenti proviene dall'Università di Dschang in Camerun. Docenti e dottorandi hanno seguito un corso intensivo di 20 ore nel febbraio del 2012 in modo da prepararsi all'arrivo del diffrattometro l'anno successivo.

In questa occasione è stata fondata l'Associazione Cristallografica Camerunense. Il primo corso dell'associazione ai suoi esordi si è tenuto dal 7 al 13 aprile 2013 in Dschang. Il tema si è incentrato su come usare la diffrazione con lo scopo di determinare strutture cristalline ed ha attratto 24 professori e dottorandi provenienti dal tutto il Camerun. Questo corso è stato cofinanziato dall'Unione Internazionale di Cristallografia, dall'Associazione Cristallografica Camerunense, dall'Università di Dschang e dalla Bruker.

I prossimi paesi a beneficiare di questa iniziativa saranno la Costa d'Avorio, il Gabon e il Senegal. In ogni paese si intende individuare una università che a sua volta formerà il personale di altre università, operando come centro di cristallografia nazionale. Ad ogni centro nazionale verrà dato il diritto di accedere gratuitamente alle pubblicazioni specialistiche della IUCr.

L'Unione Internazionale di Cristallografia sta attualmente contattando altri sponsor, in modo che l'azione "Crystallography Initiative in Africa" possa essere diffusa in tutto il continente africano.

L'Anno Internazionale della Cristallografia dovrebbe inoltre consentire l'estensione dell'iniziativa in altri paesi in via di sviluppo in Asia e in America Latina.

Per dettagli contattare:

[claude.lecomte@crm2.uhp-nancy.fr](mailto:claude.lecomte@crm2.uhp-nancy.fr)



*Il Prof. Claude Lecomte, Vice-Presidente dell'IUCr, mentre nel Febbraio 2012 insegna ad un corso di cristallografia all'Università di Dschang in Cameroon. © Patrice Kenfack/Cameroon Crystallographic Association*

## LA SIMMETRIA NELL'ARTE E NELL'ARCHITETTURA

Che si tratti di un volto umano, un fiore, un pesce, una farfalla - o un essere non vivente come una conchiglia -, la simmetria pervade il mondo naturale. La simmetria ha sempre affascinato le civiltà umane che l'hanno rispecchiata nell'arte e nell'architettura per migliaia di anni.

Possiamo trovare la simmetria in tutte le espressioni umane della creatività: in moquette e tappeti, ceramiche e porcellane, nel disegno, nella pittura, nella poesia, nella scultura, nell'architettura, nell'arte della calligrafia, etc. C'è della simmetria nell'alfabeto cinese, per esempio. E la simmetria nell'arte e architettura cinese è proprio l'espressione della filosofia cinese che ricerca l'armonia attraverso l'ordine delle cose.

Arte e architettura possono mostrare simmetrie di vario genere. Una sequenza che si ripete all'infinito è detta simmetria traslazionale. Può essere monodimensionale, come il fregio mostrato in basso, o bidimensionale, come gli animali alati nella figura qui accanto.

Nella simmetria bilaterale, lato destro e lato sinistro sono immagini speculari. Un esempio in natura è la farfalla. La simmetria bilaterale è da sempre una caratteristica ricorrente dell'architettura, basti pensare al **Taj Mahal** in India (*in figura*), alla Città Proibita in Cina o il tempio Maya di **Chichen Itza** in Messico (*in figura*). La simmetria bilaterale è anche comune nell'arte, sebbene nei dipinti la simmetria perfetta è rara.

Se una figura può essere ruotata attorno al proprio asse o ad un punto ben preciso senza mutarne l'aspetto, si dice che essa possiede una simmetria rotazionale. Le piramidi di Giza

in Egitto, ad esempio, mostrano una simmetria rotazionale di ordine 4 (incluso la base). L'interno della cupola della **Moschea di Lotfollah**, in Iran (*in figura*) mostra simmetria rotazionale di ordine 32 rispetto al punto che si trova al centro della figura.

Gli schemi geometrici ripetitivi permeano l'arte di molte civiltà. Tipici esempi sono le pitture di sabbia degli Indiani Navajo in nord America, le figure **Kolam** nel sud dell'India (*in figura*), le stoffe **Batik** colorate con tecnica tie-dye in Indonesia, l'arte degli Aborigeni Australiani e i mandala Tibetani.



Testa di bronzo Yoruba dalla città di Ife, Nigeria, 12° secolo DC  
Foto: Wikipedia

Immagine bidimensionale di Maurits Cornelis Escher (Olanda)  
© M C Escher Foundation



Taj Mahal, India, completato nel 1648, oggi è considerato dall'UNESCO un patrimonio dell'umanità  
Foto: Muhammad Mahdi Karim/Wikipedia



Il tempio di Chichen Itza, Messico, dove i Maya hanno prosperato dal 600 al 900 DC, oggi è considerato dall'UNESCO un patrimonio dell'umanità. © S. Schneegans/UNESCO

Simbolo  
cinese per  
felicità,  
pronunciato  
shuangxi

喜喜

A partire dal VII secolo d.C., le civiltà islamiche hanno usato schemi geometrici nei mosaici e in altre forme di arte per collegare in modo visivo la spiritualità con la scienza e l'arte. E' probabile che l'arte islamica abbia ispirato la scuola occidentale di astrattismo geometrico del ventesimo secolo, di cui **Maurits Cornelis Escher** e **Bridget Riley** (v. figura) furono due esponenti. Si ritiene che Escher fosse stato ispirato da una visita al palazzo moresco di Alhambra in Spagna.

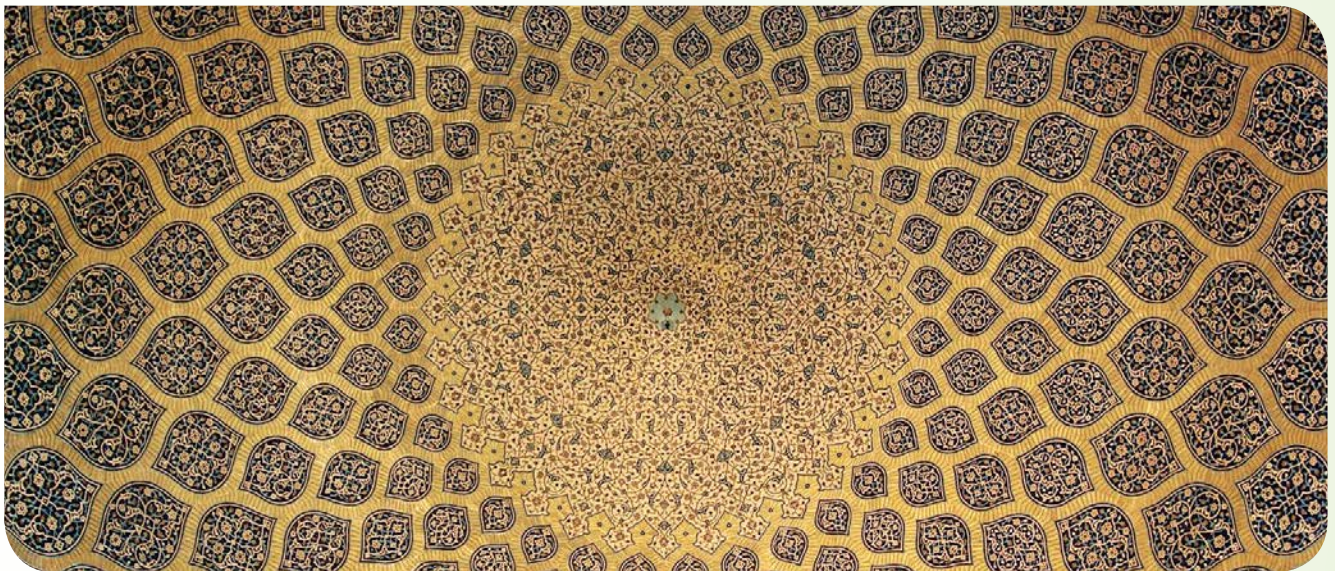
Per tutto il 2014, l'Associazione Cristallografica del Marocco organizzerà una mostra itinerante sulla Cristallografia e l'Arte Geometrica nel mondo arabo-islamico.

Per informazioni scrivere a:  
 Abdelmalek Thalal: abdthlal@gmail.com

*Soffitto a cupola nella moschea Lotfollah in Iran, completata nel 1618, oggi è considerata dall'UNESCO un patrimonio dell'umanità*  
 Foto: Phillip Maiwald/Wikipedia



*Kolam come questo sono disegnati con polvere di riso o gesso davanti alle abitazioni in Tamil Nadu per portare prosperità. Possono essere rinnovati quotidianamente. Foto: Wikipedia*



*La Madrasa (scuola) di Al-Attarine a Fez, Marocco, Patrimonio dell'Umanità. Fu fatta costruire dal Sultano Uthman II Abu Saïd della dinastia dei Merinidi tra il 1323 e il 1325.*  
 © A. Thalal



*Gioco di ombre di Bridget Riley, UK, 1990*  
 Foto: Wikipedia

*Fascia decorativa mono-dimensionale Immagine: Associazione di Cristallografia del Marocco*



# Come può la mia nazione promuovere la cristallografia nel 2014 e oltre?

Ogni nazione interessata allo sviluppo di industrie tecnologiche o ad aggiungere valore alle materie prime deve possedere conoscenze di cristallografia. In occasione dell'Anno Internazionale della Cristallografia, nazioni in via di sviluppo in Africa, nella regione Araba, in America Latina, nei Caraibi e in Asia possono fare molto per potenziare la cristallografia sul proprio territorio.

## Come migliorare la formazione e la ricerca

Come si è visto, la cristallografia è una scienza interdisciplinare che spazia dalla fisica alla chimica, dalla scienza dei materiali alla geologia, dalla biologia alla farmacia e alla medicina. Ogni scienziato con conoscenze in questi ambiti è un potenziale cristallografo. Nel corso del 2014, l'Unione Internazionale della Cristallografia incoraggerà ulteriori nazioni a diventare stati membri, al fine di agevolare la cooperazione nella formazione di nuovi cristallografi e nella ricerca e garantire l'accesso alle informazioni e alla conoscenza.

Una volta addestrati, i cristallografi necessitano di infrastrutture appropriate per applicare le proprie abilità. L'UNESCO e l'Unione Internazionale della Cristallografia raccomanda ai governi di approntare almeno un centro nazionale di cristallografia, dotato di un diffrattometro e sostenuto da fondi di ricerca. Una volta ultimata l'analisi di una struttura cristallina con il diffrattometro, il centro cristallografico può costruirne dei modelli usando appositi software. In qualità di partner dell'Anno Internazionale di Cristallografia, i costruttori di diffrattometri garantiranno prezzi accessibili e offriranno addestramento nel mantenimento di questi strumenti.

È importante che i governi realizzino politiche locali per agevolare il collegamento del centro di ricerca con università e industria all'interno della nazione e con altri centri cristallografici nel mondo, al fine di realizzare uno sviluppo sostenibile basato sulla conoscenza.

*Il muro di schermo nel salone sperimentale del SESAME, sorgente di luce di sincrotrone in Medio Oriente. Il SESAME è un centro intergovernativo installato in Giordania sotto il patrocinio dell'UNESCO e unisce gli stati del Bahrain, Cipro, Egitto, Giordania, Iran, Israele, Pakistan, Turchia e l'Autorità Palestinese, insieme a 13 stati Osservatori, tra cui Giappone e Stati Uniti. L'edificio del SESAME è stato ultimato nel 2008 e i laboratori dovrebbero essere operativi all'inizio del 2016.*

© SESAME





I governi dovrebbero anche promuovere lo sviluppo di legami tra i centri nazionali di cristallografia e le sorgenti di luce di sincrotrone nazionali ed internazionali come SESAME in Giordania (v. foto).

Al fine di condividere la conoscenza degli sviluppi scientifici e tecnologici in ambito cristallografico e di dare una maggiore visibilità alle pubblicazioni di cristallografi, soprattutto provenienti da paesi in via di sviluppo, l'Unione Internazionale di Cristallografia sta lanciando un giornale di cristallografia ad accesso libero, *IUCrJ* (v. foto a pag. 11).

L'UNESCO e l'Unione Internazionale di Cristallografia stanno anche incoraggiando i governi a fondare dei centri regionali o sotto-regionali che offrano possibilità di formazione e sperimentazione in cristallografia, in modo da razionalizzare le risorse per lo sviluppo delle competenze istituzionali.

### Formare i cristallografi di domani

È arrivato il momento per le nazioni di formare una massa critica di cristallografi. I governi possono intraprendere delle azioni per modernizzare i curricula delle scuole e delle università promuovendo una maggiore connessione con la cristallografia nei piani di studio di fisica, chimica, biologia e geologia. L'UNESCO e l'Unione Internazionale di Cristallografia sono a disposizione dei governi nell'offrire assistenza per lo sviluppo curriculare. I governi sono anche invitati ad esprimere interesse ad ospitare i laboratori mobili di cristallografia che sono stati progettati specificamente per i giovani.

L'Unione Internazionale di Cristallografia ha anche ideato progetti per la risoluzione di problemi e competizioni per le scuole, che facciano uso delle conoscenze di cristallografia, di chimica e di fisica. Lo scopo è dimostrare le applicazioni pratiche di queste scienze per lo sviluppo dell'agricoltura, per la progettazione di farmaci, per lo sviluppo di nuovi materiali "verdi", e così via. I Paesi sono invitati ad esprimere interesse nell'organizzazione di queste competizioni a livello nazionale.



# Per partecipare all'Anno Internazionale della Cristallografia

I 195 Stati Membri dell'UNESCO sono invitati a contattare lo staff dell'UNESCO che lavora all'interno dell'International Basic Sciences Programme (IBSP), oppure l'Unione Internazionale di Cristallografia, in modo da concordare un opportuno programma di promozione per il proprio paese durante il 2014.

## International Union of Crystallography

Prof. Gautam Desiraju,  
President: [desiraju@sscu.iisc.ernet.in](mailto:desiraju@sscu.iisc.ernet.in)

Prof. Claude Lecomte,  
Vice-President: [claudel.comte@crm2.uhp-nancy.fr](mailto:claudel.comte@crm2.uhp-nancy.fr)

Dr Michele Zema,  
Project Manager for the Year: [mz@iucr.org](mailto:mz@iucr.org)

## UNESCO

Prof. Maciej Nalecz, Director,  
Executive Secretary of International Basic Sciences Programme: [m.nalecz@unesco.org](mailto:m.nalecz@unesco.org)

Dr Jean-Paul Ngome Abiaga, Assistant Programme Specialist: [jj.ngome-abiaga@unesco.org](mailto:jj.ngome-abiaga@unesco.org)

Dr Ahmed Fahmi,  
Programme Specialist: [a.fahmi@unesco.org](mailto:a.fahmi@unesco.org)



*La cristallografia aiuta a stabilire quale sia il rapporto ideale tra alluminio e magnesio nelle leghe impiegate per costruire aeroplani. Usando troppo alluminio l'aeroplano risulterebbe troppo pesante, mentre troppo magnesio lo renderebbe più infiammabile. © Shutterstock/IM\_photo*

Il programma degli eventi per l'anno, nonché risorse didattiche pertinenti, sono disponibili sul sito ufficiale:

[www.iycr2014.org](http://www.iycr2014.org)



## Per ulteriori informazioni sull'Anno Internazionale della Cristallografia:

### International Union of Crystallography

Prof. Gautam Desiraju,  
President: [desiraju@sscu.iisc.ernet.in](mailto:desiraju@sscu.iisc.ernet.in)

Prof. Claude Lecomte,  
Vice-President: [claudel.comte@crm2.uhp-nancy.fr](mailto:claudel.comte@crm2.uhp-nancy.fr)

Dr Michele Zema,  
Project Manager for the Year: [mz@iucr.org](mailto:mz@iucr.org)

### UNESCO

Prof. Maciej Nalecz, Director,  
Executive Secretary of International Basic Sciences  
Programme: [m.nalecz@unesco.org](mailto:m.nalecz@unesco.org)

Dr Jean-Paul Ngome Abiaga,  
Assistant Programme Specialist: [jj.ngome-abiaga@unesco.org](mailto:jj.ngome-abiaga@unesco.org)

Dr Ahmed Fahmi,  
Programme Specialist: [a.fahmi@unesco.org](mailto:a.fahmi@unesco.org)

# [www.iycr2014.org](http://www.iycr2014.org)

