

HANNO COLLABORATO A QUESTO
NUMERO:

H. Arenhövel, E. Baldanzi, G. Benedek,
A. Bettini, C. Biscari, A. Bracco,
G. Caglioti, M. Capaccioli, P. Caraveo,
S. Charisopoulos, A. Chincarini,
S. Croci, A. Farini, S. Goswami,
M. Gurioli, R. Lalli, S. Linguerri,
M. Manghi, I. Masullo, E. Migneco,
V. Nanal, L. Palumbo, S. Pirrone,
M. Ricci, R. A. Ricci, G. Ricco, D. Ridikas,
S. Romano, C. Toninelli

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Nuova Serie Anno 39 • N. 1 gennaio-febbraio 2023 • N. 2 marzo-aprile 2023

DIRETTORE RESPONSABILE
Angela Bracco

VICEDIRETTORE
Luisa Cifarelli

COMITATO SCIENTIFICO
G. Benedek, A. Bettini,
S. Croci, S. Falciano, F. Ferroni,
G. Grosso, E. Iarocci, R. Nania,
R. A. Ricci, C. Spinella

SOMMARIO

3 EDITORIALE

A. Bracco

IN EVIDENZA

- 5 **Louis Pasteur in the mirror:
two hundred years after his birth**
G. Benedek, G. Caglioti

SCIENZA IN PRIMO PIANO

- 15 **Cytoskeleton as a new target
in radiation biology**
S. Croci, M. Manghi

FISICA E...

- 29 **IAEA activities in support
of sustainable development
of accelerator facilities
and their applications**
S. Charisopoulos, D. Ridikas

PERCORSI

- 45 **Cento anni di IUPAP**
R. Lalli

FISICA IN ERBA

- 57 **L'arte della scienza**
E. Baldanzi, A. Farini, C. Toninelli,
M. Gurioli

FISICA E INNOVAZIONE TECNOLOGICA

- 65 **Trustworthiness and ethics in data
analysis: the physicists approach
to AI in medicine**
A. Chincarini

IL NOSTRO MONDO

- 71 **Scuola Estiva "Enrico Fermi"
di Varenna**
72 **Joint EPS-SIF International School
on Energy**
73 **Passion for Physics**
74 **109° Congresso Nazionale**
76 **Premi della SIF**

78 **Albert Einstein e l'Italia**
S. Linguerri
85 **Women in physics in India: recent
perspectives**
V. Nanal, S. Goswami
89 **Il Nuovo Cimento 150, 100, 50
anni fa**
A. Bettini

90 RECENSIONI(*)

90 IN RICORDO DI(*)

Marcella Sanzone (G. Ricco,
H. Arenhövel)
Claudine Abraham-Ricci
(R. A. Ricci, M. Ricci, S. Pirrone)
Marcello Lattuada
(E. Migneco, S. Romano)
Vittorio Giorgio Vaccaro
(C. Biscari, I. Masullo, L. Palumbo)

91 SCELTI PER VOI

(*) Il testo completo è pubblicato
online:

www.sif.it/riviste/sif/sag/recensioni

www.sif.it/riviste/sif/sag/ricordo

MODALITÀ DI ISCRIZIONE ALLA SIF

Per iscriversi occorre presentare domanda di associazione con un breve curriculum scientifico e l'indicazione di due Soci presentatori.

La domanda di associazione può essere fatta online (oppure scaricando l'apposito modulo di associazione, pubblicato anche in questo fascicolo) all'indirizzo: <http://www.sif.it/associazione>.

La domanda verrà poi esaminata ed eventualmente approvata dal Consiglio di Presidenza.

Il pagamento della quota sociale, nei modi sotto indicati, dovrà avvenire dopo aver ricevuto comunicazione della accettazione a Socio.

RINNOVO QUOTE SOCIALI

Il rinnovo della quota sociale può essere effettuato:

- Online nell'Area Soci del sito web della SIF; in questo caso si utilizza la carta di credito, con collegamento diretto e sicuro al sito della Banca Nazionale del Lavoro (BNL).
Ricordiamo che l'Area Soci è un'area protetta per accedere alla quale occorre utilizzare username e password che vengono inviati a tutti i Soci. (Per accedere agli altri servizi disponibili nell'Area Soci occorre essere Soci in regola).
- Seguendo le modalità pubblicate in rete all'indirizzo:
<http://www.sif.it/associazione>.
In caso si desideri procedere anche in questo caso con la carta di credito, ricordarsi di usare l'apposito modulo debitamente compilato in tutte le sue parti.
- È anche possibile rinnovare l'associazione alla European Physical Society (EPS) attraverso le rispettive società nazionali. I Soci che desiderano pagare la propria quota di associazione all'EPS tramite la SIF possono farlo con le modalità di cui sopra. Le quote di associazione all'EPS sono pubblicate in ultima pagina e in rete allo stesso indirizzo sopraindicato.

HOW TO BECOME A SIF MEMBER

To apply for membership an application form must be filled in, including a brief scientific curriculum and the signatures of two introducing Members.

The application can be filled in online or downloading the application form at the following address:

<http://en.sif.it/association>.

The application form will be examined and eventually approved by the Council. Applicants will have to pay the membership dues, as indicated in the form, only after having been informed by the Society about the acceptance of their application.

MEMBERSHIP RENEWAL

Those who wish to renew membership, may pay dues by one of the following terms of payment:

- Online by credit card through direct connection with the bank (BNL). This service can be accessed through the Members Area of the SIF website.
We remind you that the Members Area is secured and can be accessed only through the username and password supplied to Members.
- By cheque or credit card filling the payment form published on the web at the address:
<http://en.sif.it/association>.
In case you wish to use the credit card also in this case, make sure to fill in the form in all its parts.
- It is also possible to renew the association to the European Physical Society (EPS) through the respective national societies. Members who wish to pay the EPS association fee through SIF can do so according to the instructions above. The EPS association fees are available on the SIF website at the above-indicated address.

Cari Soci, Cari Lettori,

eccomi a riportare in questo editoriale alcune informazioni riguardanti i primi mesi del 2023 che personalmente considero degne di nota e credo vi faccia piacere ricevere.

Nell'ambito delle attività editoriali voglio farvi sapere che sono molto soddisfatta dell'uscita in questi mesi di due nuovi volumi.

Il primo è il libro *"Orso Mario Corbino. Un manager della ricerca all'Istituto fisico di Roma"*, di Miriam Focaccia (uscito in dicembre 2022). Questo è il primo libro che la Società Italiana di Fisica ha prodotto per ricordare Orso Mario Corbino, una figura importante per la fisica e per la quale la letteratura esistente è abbastanza scarsa. È per questo motivo, come ho scritto nella prefazione, che la SIF è stata molto entusiasta quando Miriam Focaccia, una studiosa di storia della fisica altamente apprezzata, ci ha proposto di pubblicare questo suo libro. Il libro descrive quanto Orso Mario Corbino sia stato prolifico nel settore scientifico e per le istituzioni. Tra le sue cariche, lo ricordiamo, c'è quella di Ministro della Pubblica Istruzione. È stato anche Presidente della SIF dal 1914 al 1919 e il premio con il suo nome, istituito dalla SIF per onorarne la memoria, è riservato a giovani laureati in fisica che abbiano dato prova di notevole operosità scientifica.

È inoltre in pubblicazione un volume curato dal Comitato Pari Opportunità (CPO) della SIF, intitolato *"Le Fisiche Italiane - Dizionario biografico"*, per il quale esprimo al CPO il mio grande apprezzamento. Combinare importanti informazioni storiche con l'obiettivo di evidenziare quanto le donne abbiano contribuito alle conoscenze nell'ambito della fisica è stata senza dubbio un'eccellente idea, che ha richiesto un notevole impegno per realizzarla. Il volume è ben organizzato ed è sicuramente di grande interesse.

Il nostro CPO è sempre molto attivo e presente a eventi importanti, come quello, intitolato *"Donne e Fisica"*, organizzato in occasione dell'8 marzo dall'Università di Palermo che ha avuto tra i relatori la Presidente del CPO, Sara Pirrone.

Per quanto riguarda gli eventi internazionali, ho avuto l'onore di partecipare e portare gli auguri della SIF alla Cerimonia Inaugurale delle celebrazioni che si terranno nel 2023 per il 150° anniversario della Società Francese di Fisica (SFP). L'evento si è tenuto il 16 gennaio 2023 a Parigi al Grand Amphithéâtre de l'Université de la Sorbonne alla presenza della Ministra dell'Università e della Ricerca francese, la Professoressa Sylvie Retailleau, fisica e già Presidente dell'Université Paris-Saclay. Questa cerimonia ha avuto molte presentazioni ben ideate, tra cui Il Premio Nobel Serge Haroche che ci ha ricordato come la SFP sia stata fondata tra due periodi brillanti della fisica francese nei quali le scoperte scientifiche



hanno permesso la creazione di numerose tecnologie di cui è permeata la nostra vita.

Ma anche la SIF nel 2023 ha un'importante anniversario da celebrare. Quest'anno è infatti il 70° della *International School of Physics "Enrico Fermi"* che sin dalla sua fondazione si svolge a Villa Monastero, a Varenna sul lago di Como.

Uno speciale simposio *"Passion for Physics 2023"* sarà tenuto il 23 giugno proprio a Varenna, simposio in cui passati direttori e illustri docenti ci presenteranno come i corsi di questa Scuola abbiano avuto un ruolo importante per la ricerca e la formazione dei giovani nei diversi campi della fisica.

Desidero inoltre ricordare che sempre quest'anno a Varenna a Villa Monastero si terrà la settima edizione della *Joint EPS-SIF International School on Energy* diretta da Luisa Cifarelli e Francesco Romanelli. Lo scopo principale della Scuola è quello di affrontare il tema dell'innovazione nel settore energetico e discutere come l'integrazione di diverse tecnologie possa contribuire all'obiettivo di ottenere una rapida decarbonizzazione dell'economia. Il mondo è impegnato in questa sfida e la Scuola avrà come docenti esperti che fanno ricerca in quest'ambito che sicuramente stimoleranno l'interesse degli studenti. Qualsiasi dibattito sulla politica energetica richiede una conoscenza di base dell'intero settore energetico.

Prima di concludere desidero menzionare

altre due notizie sul nostro lavoro in questi mesi. Come prima cosa intendo ricordare che in occasione della *Giornata Internazionale della Luce*, la SIF e la Società Italiana di Ottica e Fotonica (SIOF) promuovono anche quest'anno la realizzazione di eventi organizzati dai giovani e dedicati alla loro formazione, su tematiche inerenti alla Luce, da svolgersi il 16 maggio o nei giorni immediatamente precedenti/successivi.

La seconda notizia riguarda la preparazione del 109° Congresso Nazionale della SIF, che si terrà a Salerno nei giorni 11-15 settembre 2023. Avremo anche quest'anno due sessioni speciali: una dedicata all'Optometria organizzata dai Presidenti dei Corsi di Laurea in Ottica e Optometria (all'interno della sezione di Fisica Applicata) e una organizzata dalla SIFS, la Società Italiana di Fisica Statistica (all'interno della sezione di Fisica della Materia).

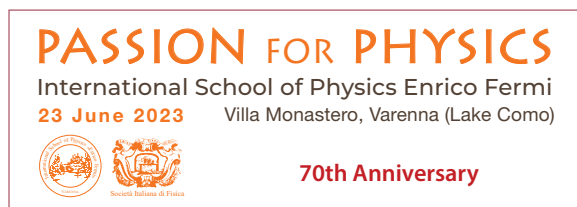
Questi sono esempi di efficace collaborazione della SIF con altre società e mi aspetto che anche quest'anno queste sessioni speciali abbiano successo e siano molto utili in particolare a queste comunità.

Mi congedo augurando buona lettura del nostro bollettino.

Presidente SIF

Per il testo dell'Editoriale apparso nel volume 38 (2022) N. 5-6, l'autore AB intende aggiungere la seguente precisazione:

La sessione del 108° Congresso Nazionale della SIF voluta dalla AL0eO (Associazione Laureati in Ottica e Optometria) è stata organizzata dai Presidenti dei Corsi di Laurea in Ottica e Optometria delle Università di Milano-Bicocca, di Roma Tre e di Firenze, con il supporto di tutti i colleghi Presidenti nelle altre sedi.



Dear Members, Dear Readers,

here I am reporting in this editorial some news regarding the first months of 2023 that I personally consider worthy of note and I think you would like to receive.

As regards the publishing activities, I wish to let you know that I am very satisfied with the release of two new volumes in the past months.

The first is the book *"Orso Mario Corbino. Un manager della ricerca all'Istituto fisico di Roma"* (Orso Mario Corbino. A research manager at the Physics Institute in Rome), by Miriam Focaccia (released in December 2022). This is the first book that the SIF has produced to commemorate Orso Mario Corbino, an important figure in physics and for whom the existing literature is quite scarce. It is for this reason, as I wrote in the book preface, that the SIF was very enthusiastic when Miriam Focaccia, a highly regarded historian of physics, asked us to publish her book. The book describes how prolific Orso Mario Corbino was in the scientific sector and how important he was for the Italian institutions. He was Minister of Education and also President of the SIF from 1914 to 1919 and the prize bearing his name, established by the SIF to honor his memory, is awarded to young physics graduates who have demonstrated outstanding scientific activity.

A volume edited by our Equal Opportunities Committee (CPO of the SIF) has also been released entitled *"Le Fisiche Italiane - Dizionario biografico"* (Italian Women Physicists - Biographical dictionary), for which I express my great appreciation to the CPO. Combining important historical information with the aim of highlighting how much women have contributed to knowledge in physics was undoubtedly an excellent idea, which required considerable effort to implement. The volume is well organized and is certainly of great interest.

Our CPO is always very active and involved in important events, such as the one organized on the occasion of the *International Women's Day* (8 March), entitled *"Donne e Fisica"* (Women and Physics), by the University of Palermo, which had among its speakers our CPO President, Sara Pirrone.

Concerning international events, I had the honor of attending on behalf of the SIF the Inaugural Ceremony of the celebrations to be held in 2023 for the 150th anniversary of the French Physical Society (SFP). The event was held on 16 January 2023 in Paris at the Grand Amphithéâtre de l'Université de la Sorbonne in the presence of the Minister of the University and Research, Professor Sylvie Retailleau, physicist and former President of the Université Paris-Saclay. This ceremony had many well thought-out presentations, including that from Nobel Laureate Serge Haroche. He reminded us that SFP was founded in between two brilliant periods in French physics in which scientific discoveries allowed for the creation of numerous technologies which permeate our life.

But also the SIF in 2023 has an important event to celebrate. Indeed, this year is the 70th anniversary of the *International School of Physics "Enrico Fermi"* held since its foundation at Villa Monastero, in Varenna on Lake Como.

A special symposium *"Passion for Physics 2023"* will be held on 23 June in Varenna in which some past directors and illustrious lecturers will present us how the courses of this School have played an important role in the research and training of young people in the various fields of physics.

I would also like to remind you that the seventh edition of the *Joint EPS-SIF International School on Energy* directed by Luisa Cifarelli and Francesco Romanelli will also take place this year in Varenna at Villa Monastero. The main purpose of the School is to address the issue of innovation in the energy sector and discuss how the integration of different technologies can contribute to the

goal of achieving a rapid decarbonisation of the economy. The world is engaged in this challenge and the School will have expert teachers who do research in this area who will surely stimulate the interest of students. Any energy policy debate requires a basic understanding of the entire energy sector.

Before concluding, I would like to mention two more pieces of news about our work in recent months. First of all, I would like to remind you that on the occasion of the *International Day of Light*, the SIF and the Italian Optical and Photonic Society (SIOF) are also this year promoting the creation of events organized by young people and dedicated to their training, on issues related to light, to be held on 16 May or in the days around that date.

The second piece of news concerns the preparation of the 109th National Congress of the SIF, which will be held in Salerno from 11 to 15 September 2023. Also this year we will have two special sessions: one (within the Applied Physics section) dedicated to Optometry organized by the Presidents of the Degree Courses in Optics and Optometry and the other (within the Physics of Matter section) organized by the SIFS, the Italian Statistical Physics Society.

These are examples of effective collaboration of the SIF with other societies and I expect, again this year, these special sessions to be successful and useful in particular to these communities.

I now wish you a good reading of our bulletin.

Angela Bracco
SIF President

For the text of the editorial that appeared in volume 38 (2022) No. 5-6, the author AB intends to add the following clarification:

The session of the 108th SIF National Congress proposed by ALOeO (Association of Graduates in Optics and Optometry) was organized by the responsables for the Degree in Optics and Optometry of the Universities of Milano-Bicocca, Roma Tre and Florence with the support of their corresponding colleagues in other universities.

LOUIS PASTEUR IN THE MIRROR: TWO HUNDRED YEARS AFTER HIS BIRTH*

GIORGIO BENEDEK^{1,2}, GIUSEPPE CAGLIOTI³

¹Department of Materials Science, University of Milano-Bicocca, Milan, Italy

²Donostia International Physics Center, Donostia-San Sebastian, Spain

³Department of Energy, Politecnico di Milano, Milan, Italy

Two hundred years after his birth, the work of Louis Pasteur is also an event in the history of physics. Although universally known as the founder of modern microbiology, he is credited for discovering in 1848 the crystalline and molecular chirality, *i.e.*, structures that can exist in two distinct forms, one a mirror image of the other. The discovery of chirality, besides stimulating the birth of stereochemistry, has acquired extraordinary importance in all areas of physics, from fundamental interactions to cosmology, from condensed matter to biophysics. In particular, the homochirality of life and the possible relationship with that of the weak nuclear forces are research topics of great current interest.

*Celui qui n'éclate pas de rire, lorsqu'il se penche pour regarder ses pieds nus,
celui-là n'a soit aucun sens de l'humour, soit aucun sens de la symétrie.*
Descartes

1 Precocity of genius

Louis Pasteur was born in Dole, in the French Jura, on December 27, 1822. Pasteur is universally known as the founder of modern microbiology and the discoverer in 1848 of crystalline structures that can exist in two distinct forms, one the mirror image of the other. The two crystalline forms are optically distinguished by the property of rotating the plane of polarization of light passing through them, either to the right or to the left (optical activity); therefore, they are respectively called right-handed or left-handed (circular birefringence). In the first quarter of the 19th century Arago, Herschel, Biot and Fresnel discovered independently that optical activity occurs also in certain liquids, and hence this birefringence is referable to the component molecules. Thus Pasteur (*fig. 1*) [1], just eight months after obtaining his two doctorates, one in chemistry and one in physics, discovered under the microscope the chiral asymmetry in the crystals of double sodium and ammonium tartrate (*fig. 2*) [2, 3].

* Translated from "Il Riflesso di Louis Pasteur: a duecento anni dalla nascita", *Quaderni di Storia della Fisica*, N. 29 (2023).

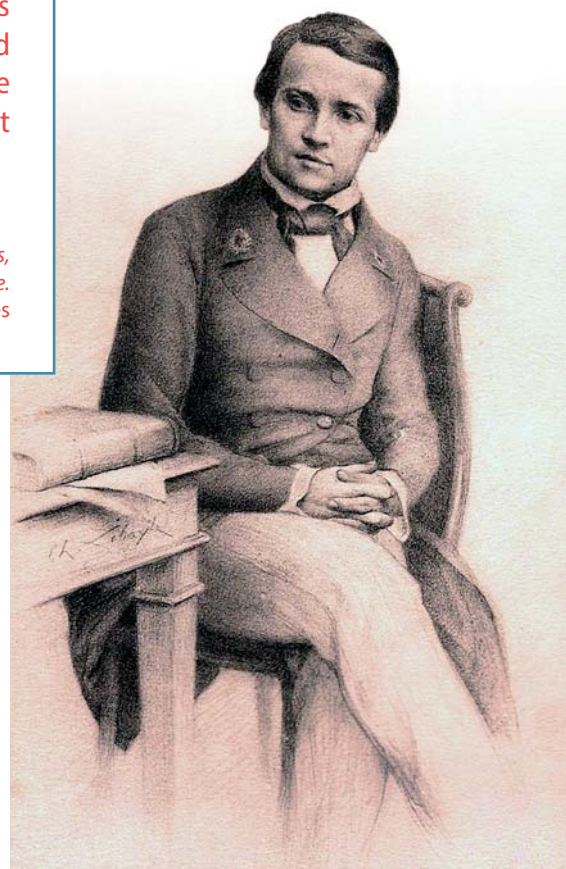


Fig. 1 Louis Pasteur, a 22-year-old student at the École Normale Supérieure, in a pencil drawing by Charles Lebayle, from a 1845 daguerreotype [1].

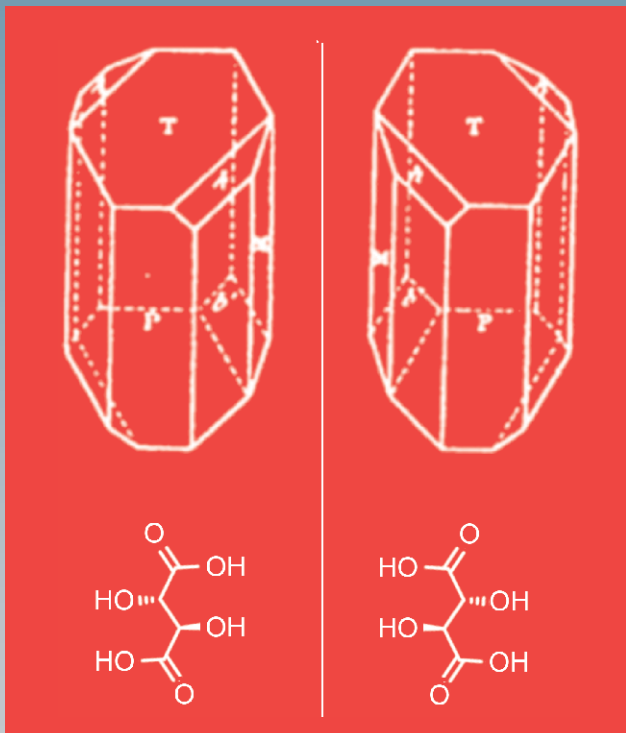


Fig. 2 The two enantiomers of the sodium ammonium double tartrate crystal in Pasteur's original drawing [2, 3]. Below are the two corresponding enantiomers of the tartaric acid molecule.

Incidentally, Pasteur's doctorate in physics was precisely on the optical activity of liquids. Pasteur observed that the same optical activity found in crystals of tartaric acid and its compounds persisted in solution: therefore, the constituent molecules, although chemically identical, can exist in two structures, one specular to the other, called enantiomers, and determine their optical activity independently of their orientation in the respective crystals. In the same year 1848, Pasteur was able to communicate his discovery at the Académie des Sciences (fig. 3) [4], Pierre Flourens and François Arago being the presidents (*secrétaires perpétuels*), and then to publish it in the prestigious *Annales de Chimie et Physique* (fig. 4) [5], at that time directed by

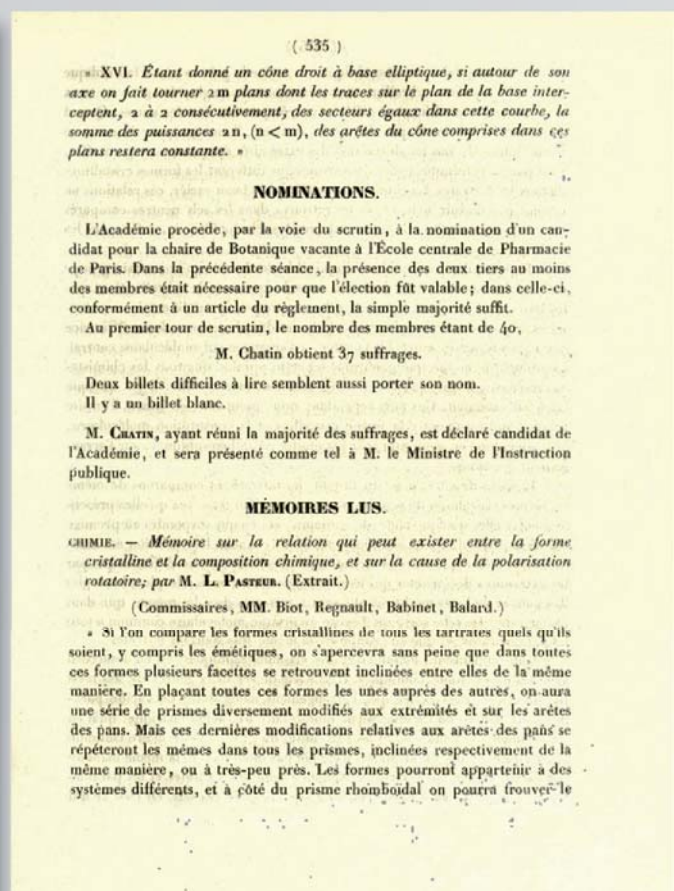
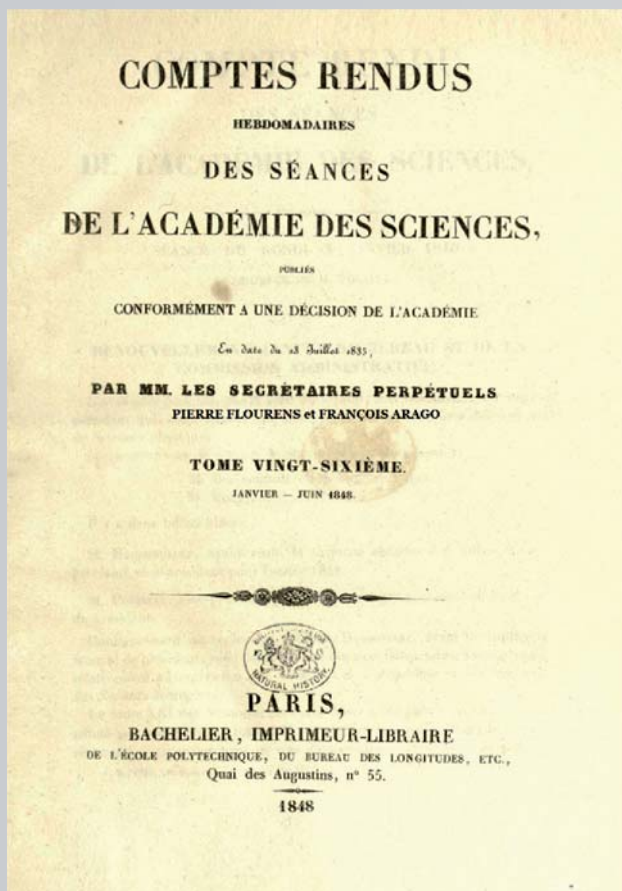


Fig. 3 Frontispiece and first page of Pasteur's memoir read at the Académie des Sciences in Paris and published in the *Comptes Rendus* of the first half of 1848, in which the relationship between crystal dissymmetry and different optical activity of the component molecules is demonstrated [4].

Arago himself, as well as by Gay-Lussac, Regnault, Chevreul, and other illustrious names.

Jean-Baptiste Biot had demonstrated years earlier that natural tartaric acid is invariably right-handed, both crystalline and in solution, and he wanted to clarify and prove with Pasteur himself that racemate (as the tartrate with no optical activity was then called) was an equal-part mixture of two enantiomers, as claimed by the young researcher. Faced with the evidence of the two enantiomers that, properly separated, rotated polarization in opposite directions, the elder Biot exclaimed: "*Mon cher enfant, j'ai tant aimé les sciences dans ma vie que cela me fait battre le coeur!*" [3, 6].

Exactly 20 years had passed since the event that conventionally stands at the beginning of organic chemistry, *i.e.*, the chemistry of the living: the synthesis of urea, achieved by Friedrich Wöhler in Göttingen in 1828. Wöhler

was only 28 years old when he succeeded in synthesizing an organic molecule from inorganic substances, thus dealing a death blow to the so-called vitalism [7]. It is truly the case that scientific revolutions are often made by young talents. With Pasteur's discovery of molecular enantiomery, the foundations of stereochemistry were in fact laid. The atoms that make up two enantiomers do not necessarily all stand in one plane, otherwise one could be brought to coincide with the other by a simple flip in space. In 1874 two young friends, Jacobus H. van 't Hoff, just 22 years old, and Joseph A. Le Bel, 27, proposed the tetrahedral structure of carbon single bonds. Their papers were published separately [8], but the two young authors together were awarded in 1893 the Davy Medal of the Royal Society of London "in recognition of their introduction of the theory of asymmetric carbon, and its use in explaining the constitution of optically active carbon compounds" [9].

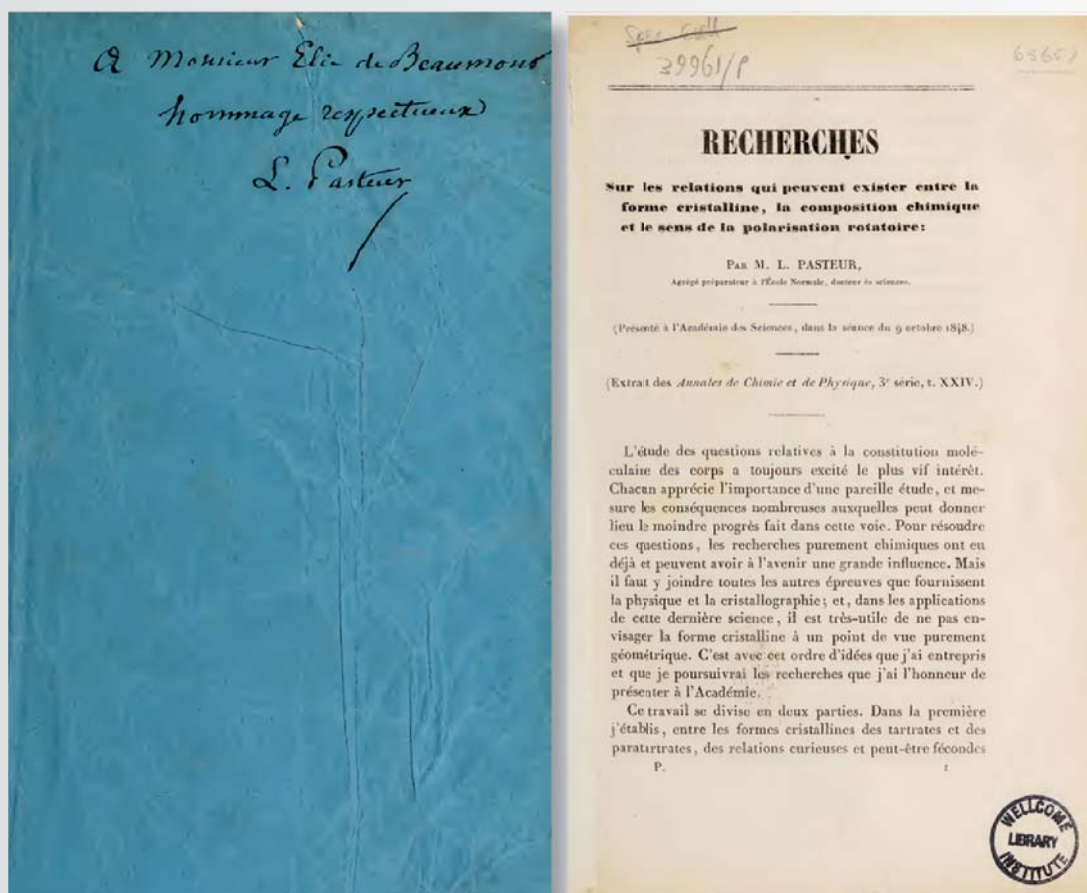


Fig. 4 First page of the note submitted by Pasteur to the Académie des Sciences on October 9, 1848 and published in the *Annales de Chimie et de Physique* [5]. The reprint's dedication to the famous geologist Jean-Baptiste Elie de Beaumont (1798-1878) is interesting.

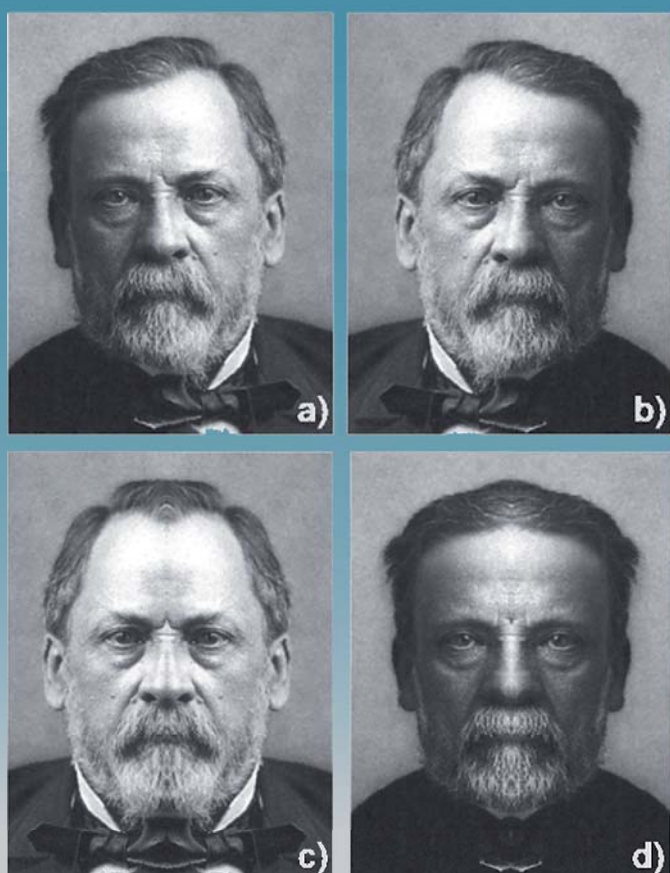


Fig. 5 Louis Pasteur in the mirror. The image of Louis Pasteur's natural face (a), and its mirror image (b), would still make him recognizable, while the other two images, of perfect mirror symmetry, obtained by joining the semi-face of either the right side (c), or the left side (d) with their respective mirror reflections, are very different and unrecognizable. The inherent dissymmetry of the face plays an important role in physiognomy [12].

Lord Kelvin is believed to have been the first (in 1873) to use the term *chirality* in connection with Pasteur's dissymmetry, and to give a clear definition of it in his Baltimore Lectures of 1884: "I call any geometrical figure or group of points, chiral, and say that it has chirality, if its image in a plane mirror, ideally realized, cannot be brought to coincide with itself" [10, 11]. Since the right hand and left hand are mirror images of each other and cannot be superimposed, they provided the most common example of chirality and its very etymology, from the Greek *χείρ* (hand). A person's face, viewed frontally in a photograph, would seem to us to be a good example of mirror symmetry with respect to the axis passing through the tip of the nose. They say that many animals and most mammals are characterized by bilateral symmetry, but this is only partially true: an ideally symmetrical face is less attractive, is less intriguing than the actual face. In fact, it is precisely the slight dissymmetry of a face that characterizes its physiognomy [12]. Anyone who had personally known Pasteur would immediately recognize him as much from his original photo (fig. 5 (a)) as from his mirror image, in case the printer had not used the negative in the right direction (fig. 5 (b)). In contrast, symmetrized photos, obtained by joining either the left side of the face (fig. 5 (c)), or the right side (fig. 5 (d)) with their respective mirror images, would show two rather disturbing faces, in which no one would recognize Pasteur!

2 Homochirality of life

Joking aside, chirality has not only become a fundamental aspect of stereochemistry and organic reactions, but has assumed an extraordinarily important role in subnuclear and nuclear physics, as well as in condensed matter physics, astrophysics, and biology. We find its prodromes as early as Pasteur's famous and compelling account. From the fact that tartaric acid, produced by the presence of a living organism, e.g., *Penicillium notatum*, is always levogyrous comes the belief that the molecules of life are chiral. Pasteur wonders in his famous 1883 lecture given to the *Société Chimique de Paris*, "I also feel that all living

species are primordially, in their structure, in their external forms, functions of cosmic asymmetry. Life is the germ, and the germ is life. Who could say what the becoming of germs would be if one could replace in these germs the constituent principles, albumin, cellulose, etc. etc. with their inverse asymmetrical principles?" [13]. Is the chemistry of life therefore homochiral? How so?

The asymmetry of life fascinated Primo Levi, a chemist by training, and he tells us about it, as he was a great storyteller, in an article that appeared in the journal *Prometheus* in September 1984, trying to place it in a cosmic asymmetry, as Pasteur had imagined. Rightly, a few years ago, the article was republished together with Pasteur's lecture and an afterword, actually an update, by Gianni Jona-Lasinio in the delightful Gattomerlino/Superstripes series directed by Piera Mattei [13]. On the cosmological plane, there are several asymmetries, perhaps all interrelated: The Earth turns on itself with a certain hand, and so around the Sun, and so the planets and galaxies; there is the Earth's magnetic field and the eventual polarization of sunlight by the Faraday effect (by the way discovered in 1845, three years before Pasteur's work!).

Levi observes that Miller's experiments, aimed at achieving the synthesis of amino acids under the supposed environmental conditions of the beginnings of life on Earth, invariably lead to racemic compounds, *i.e.*, with the two enantiomers in equal amounts. Where, then, does the asymmetry of life come from? Are the very slight asymmetries observed at the scale of atomic and molecular processes sufficient? Is it due to a tiny fluctuation, a small accidental prevalence of one over the other, until it dominated by natural selection? A dissymmetry in the Big Bang? We know that chirality intervenes at the level of elementary particles: particle physicists have only observed left chiral fermions and only right chiral antifermions. So there is a fundamental dissymmetry between matter and antimatter. Primo Levi already noted, "Chirality may reside in the subatomic domain, the one where no language is valid anymore except mathematical language, where intuition does not reach and metaphors fail.

One of the forces that bind particles together, the weak interaction, is not symmetrical; electrons emitted in certain radioactive disintegrations are hopelessly sinister ..." and concluded the article in this way: "To me, the news of the chirality of the universe ... appeared shocking, at once dramatic and enigmatic: does it make sense? And if so, which one? How far does it lead? Is it not a 'dice game,' the very one Einstein refused to attribute to God?" [13].

In this regard, we are enlightened by Jona-Lasinio who, in his afterword, refers to the development of non-equilibrium thermodynamics, and to other novel concepts which have distinguished physics in the second half of the last century: spontaneous symmetry breaking, phase transitions, self-organization, complexity and emergent properties. Rightly, Jona-Lasinio observes that at thermodynamic equilibrium enantiomers would be present in equal measure and there would be no homochiral universe. But the universe is immensely far from equilibrium, which is like saying an immense reservoir of information, capable of spontaneously bringing forth order from chaos, including life [14]. But these are only, albeit formidable, conceptual tools. Jona-Lasinio's question remains: "Since we characterize life as a set of properties that differentiate a living organism from an inanimate object, ... is physics able to describe in its language the emergence and evolution of these properties? [13]. This is one of the great challenges of our time. We have seen here the difficulty of solving such a preliminary problem as homochirality in the living: this is in anticipation of a long and rough route ..." [13].

Indeed, regarding homochirality in the living, the path has turned out to be extraordinarily interesting but also with some serious path accidents. It is now well established that life is homochiral: in living things, bio-molecules take on only one of two chiral configurations; left-handed are all amino acids, right-handed are all sugars. Everywhere in the world, above and below the equator, unlike Foucault's pendulum! Our organism reacts differently to the two enantiomers. For example, the sense of smell distinguishes the citrus scents of L-limonene and its enantiomorph, R-limonene, from the scent diffused by the oily racemic

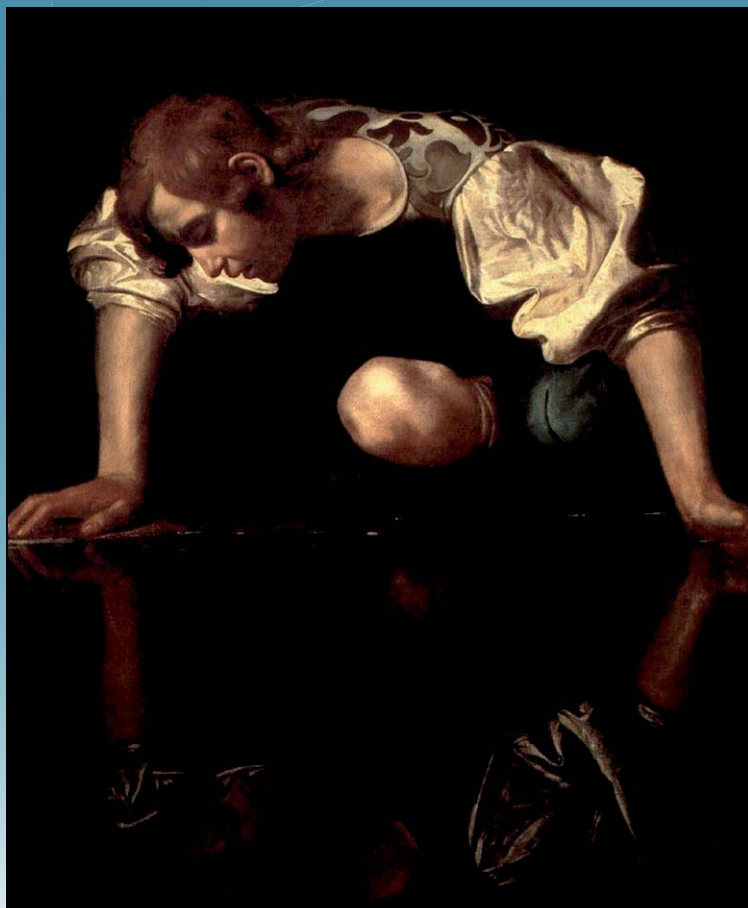


Fig. 6 A famous painting by Michelangelo Merisi da Caravaggio, at Palazzo Barberini in Rome, showing Narcissus reflected in the water, and thus represented in his two enantiomers. The image is reproduced in the cover of Roald Hoffmann's famous book *"The same and not the same"* [15].

mixture, in equal percentages, of the two enantiomeric molecules: the selective sniff defeats Raman spectroscopy, which is insensitive to these structural differences.

A serious and dramatic mishap, to which Roald Hoffmann devotes ample space in his *"The same and not the same"* (fig. 6) [15] is thalidomide: a chiral molecule, synthesized in 1954 by the German chemist Wilhelm Kunz, with the intention of deriving a sedative drug from valium. In the late 1950s, a mixture of the two enantiomers of thalidomide (fig. 7) was marketed and sold – at that time without prescription – to thousands of pregnant women to combat their insomnia. Shocking were the consequences: about eight thousand unfortunate women gave birth to phocomelic babies – with their hands attached to their shoulders, and their feet attached to their hips. It was discovered that the right-handed enantiomer of thalidomide is a mild tranquilizer, while the left-handed enantiomer is teratogenic, generating monsters. The trials that followed ascertained the superficiality of some doctors and the greed of some pharmaceutical industries, guilty of hesitating too long before blocking the sales of the "drug".

When we happen to force our right hand to receive the left glove, we feel a certain discomfort. It is a discomfort that, out of metaphor, at the molecular scale can degenerate into a catastrophe. The tragedy of thalidomide was caused precisely by the incompatibility between the organism's receptors and the pair of nitrogen atoms, N, and hydrogen atoms, H, of the drug, awkwardly oriented in the left enantiomer. This tragedy highlighted the extent to which the activity of two enantiomers (and their mixture) on our body's receptors can differ. In 2006, more than half of the drugs on the market were chiral and, of these, about 90% consisted of the racemic mixture of the two enantiomers. Today, understandable and increasing, even at the nanoscale, is the pharmaceutical industries' commitment to both the synthesis of the two enantiomers and their separation: to optimize therapeutic treatment, it is necessary to eliminate the unwanted enantiomer.

The development of stereochemistry where it is possible to control the synthesis of a defined enantiomer is marked by important

milestones and awards. See the Nobel Prize to Croatian-Swiss chemist Vladimir Prelog in 1975 and, especially, that of 1981 to Roald Hoffmann, shared with Kenichi Fukui, for stereochemistry of pericyclic reactions. In 2001 three chemists, William S. Knowles, Ryoji Noyori and K. Barry Sharpless, were awarded the Nobel Prize for “the development of asymmetric catalytic synthesis”; in 2021 the same honour was awarded to chemists Benjamin List and David W.C. MacMillan “for the development of asymmetric organic catalysis”. In this specific area, research is particularly intense, as can be noted in some important articles and reviews selected, for illustrative purposes, from 2022 vast output [16–19]. It seems superfluous to remark the impact of this research on the chemical industry.

3 Universal chirality

The geometric chirality of macromolecules such as DNA and the like is reflected in the topology of the electronic bands [20, 21], and the electrons transmitted through these molecules acquire a spin polarization, realizing a chirality-induced spin selectivity (CISS) [22]. The CISS effect provides a mechanism for the realization and self-assembly of chiral nanostructures, with applications in spintronics, chiral plasmonics, enantioselective catalysis, etc. [23]. The study of the mechanical effects of light, originating from the discovery of radiation pressure, finds an interesting application in the case of a circularly polarized beam of light acting on a jet of chiral molecules, causing a separation of the two enantiomers [24]. Like photons, phonons are bosons with angular momentum 1. While photons, having no mass, exist only with magnetic numbers (helicity) $m = \pm 1$, corresponding to chiral transverse dextro- and levorotatory polarizations, phonons, being massive bosons, also possess the longitudinal component $m = 0$. The chirality of transverse phonons in chiral materials allows the realization of phonon diodes where chiral phonons can propagate only in one direction and not in the opposite direction [25]. In chiral organic complexes, the study of vibrational and relaxation properties can enable the discrimination of different enantiomers [26].

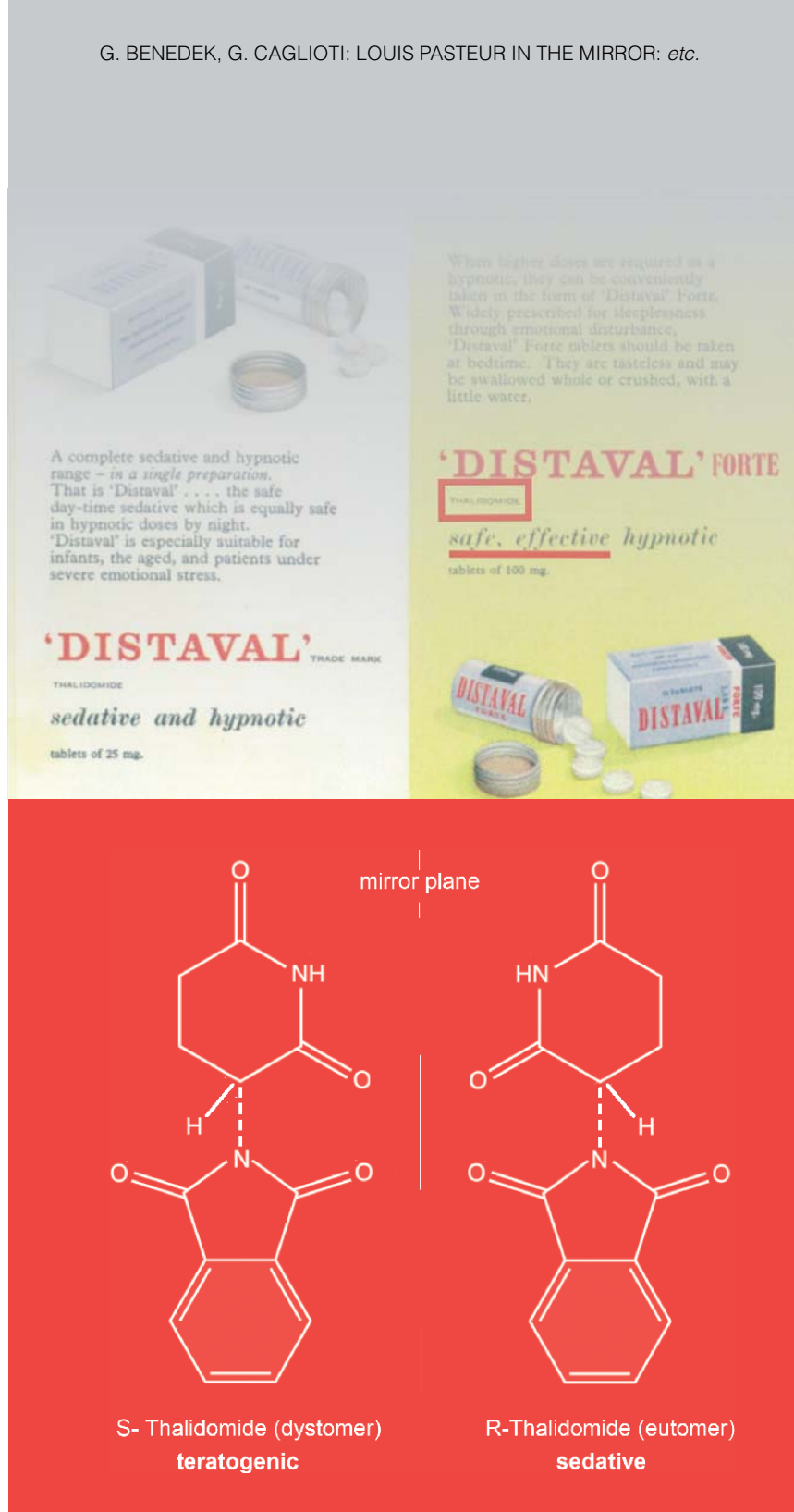


Fig. 7 Thalidomide: left, the left enantiomer, teratogenic; right, the right enantiomer, a mild sedative. The chiral carbon, at the center of a tetrahedron, chemically binds with the nitrogen N, two carbon atoms, and the hydrogen atom, H. The two tetrahedra of the two enantiomers are configured specularly and are not overlapping, like the left hand (teratogenic thalidomide) and the right hand (sedative thalidomide). The racemic mixture of the two enantiomers was commercialized in the 1960s, with tragic consequences.



Coullet *et al.* have shown that chirality also characterizes Bloch walls between magnetic domains, and the velocity of their motion under nonequilibrium conditions is simply related to chirality [27].

In recent years, condensed matter physicists have been devoting themselves intensively to materials of great interest in nanotechnology, such as topological insulators, Dirac/Weyl semimetals, and quasi-two-dimensional systems such as graphene, lamellar chalcogenides, van der Waals heterostructures, etc., where chirality plays a key role [28–31]. These few mentions are just a few examples of the role of chirality in the most diverse areas of condensed matter physics. On the other hand, atomic nuclei are also a form of condensed matter, albeit more like a liquid drop than a solid. Many heavy nuclei, however, are not spherical in their ground state, taking rather the form of a triaxial ellipsoidal drop. The presence of intrinsic vorticity allows the rotational states of the nucleus to have axes that do not coincide with the geometric axes, and are therefore chiral states [32, 33]. Incidentally, this is an effect already described for a classical liquid by none other than Riemann in 1860 [34], in the years when the notion of chirality was becoming established in the chemistry of life. This, however, is chirality of geometrical origin, as is that of a quantum nature relating to the rotational states of triaxial nuclei. But among the fundamental interactions operating within nuclei is the weak interaction (electroweak, after unification with the electromagnetic interaction), which has the characteristic of coupling spin with the linear momentum of the particle (as in Weyl semimetals mentioned above), which introduces an intrinsic chiral dissymmetry, with incalculable consequences, even on the cosmological level.

The fundamental role of chirality in subatomic physics emerged in 1957 with the famous experiment of Chien-Shiung Wu, [35] who, following a suggestion by T. D. Lee and C. N. Yang, demonstrated the non-conservation of parity in the beta decay of the ^{60}Co nucleus. The emitted electrons were found to have predominantly spin opposite to the direction of momentum (*i.e.*, motion), which means chirality -1 . In the same year, Postma *et al.*'s experiments on the decay of ^{58}Co demonstrated

the emission of a positron of predominantly $+1$ chirality [36]. Similarly, the anti-neutrino and neutrino, respectively emitted in the above two processes, are found to have prevailing chirality $+1$ and -1 . But what are the possible cosmological implications mentioned above?

In essence, Pasteur taught us that life is homochiral. Aminoacids forming proteins are all levorotatory. DNA is a helix which, with respect to its axis direction, rotates clockwise, and is therefore dextrorotatory, as long as it is in a living body. With death and at finite temperature all chiral molecular components of proteins and DNA start racemizing, with a slow transformation into the respective enantiomers. Measuring the enantiomer ratio is actually used as a dating method in fossil paleontology. The tendency of the righthanded helix to “racemize” goes hand in hand with the ineffectiveness of the effort a mature organism makes to keep itself unbalanced, that is, in a quasi-stationary state far from equilibrium. But the big question is: What is the origin of the homochirality of life, and what is its role in the evolutionary process? [37]. A cosmic origin, linked to the origin of the universe and the action of asymmetrical fundamental forces, as Primo Levi and Jona-Lasinio hypothesize? [13].

Of this idea was Abdus Salam in his celebrated 1991 paper, entitled precisely “*The role of chirality in the origin of life*” [38], which has been followed by several important papers, including, by way of example, those of Kamionkowski *et al.* [39] and Laurence Barron [40] and a recent discussion by Axel Brandenburg [41]. But how one rises from the level of the weak nuclear force to the level of the macromolecules of life, and how the famous parity violation may carry some significant weight with respect to the mighty electromagnetic forces that hold atoms and molecules together, we can guess by scrolling through an excellent review by R. M. Pagni [42]. Basically, the electrons of atoms and molecules have a tiny probability of transiting into nuclei, and thus interacting with them not only through electromagnetic forces, which operate at a distance, but also through weak nuclear forces, which operate only within the nucleus and with intensities many orders of magnitude smaller than the electromagnetic ones. In

essence, the electron also interacts directly with the nucleus by exchanging Z^0 bosons with its quarks. An insignificant interaction, but sufficient to break a fundamental symmetry and trigger a very slight preference for one of the two possible chiralities. Homochirality will result from a long evolutionary process. Nature is patient!

As a result of this process, most animal organisms occur with mirror symmetry; but only apparently, because the distribution of internal organs observes no symmetry. The functions of the two cerebral hemispheres are very different, and even motor skills are not symmetrical: left-handed people are less than right-handed, about 10.6 percent of the population, indicating a curious form of quasi-homochirality. The question then arose as to whether there are psychological implications to chirality, whether our perception, particularly our artistic perception, is also affected by chirality: do we more willingly climb a right-handed or left-handed helical staircase? Are we more comfortable with photos printed right or those printed by mistake mirrorlike? Do we like better a bird's flight from right

to left or left to right? Architects, art historians, perception and pattern recognition scientists ask these interesting questions [43, 44]. How much of chiral has Nature made from primeval chemical homochirality, and how much this has influenced art, we find commented on in a fascinating lecture by Salvatore Caccamese [45]. It is a fact that the ability to observe the world, to visualize it and represent it in abstract forms, a fundamental ability of artists, is equally fundamental for scientists. There is no need to bother Leonardo: Pasteur himself had shown great artistic talent at a very young age, and we can think of this talent as having benefited him in grasping, at the age of 26, the fundamental difference between the two enantiomer crystals observed under a microscope [46].

Louis Pasteur's legacy, although limited to chirality and leaving out the other areas of biochemistry where he opened up multiple new avenues of research and knowledge, is immense, covering many new areas of research, and is therefore destined to last for a very long time. Happy 200th birthday, Louis Pasteur!

References

- [1] L. Lumet, "Pasteur, sa vie, son oeuvre" (Hachette) 1922.
- [2] H. D. Flack, "Louis Pasteur's discovery of molecular chirality and spontaneous resolution in 1848, together with a complete review of his crystallographic and chemical work", *Acta Crystallogr.*, A65 (2009) 371; <https://doi.org/10.1107/S0108767309024088>
- [3] G. Vantomme, J. Crassous, "Pasteur and chirality: A story of how serendipity favors the prepared minds", *Chirality*, 33 (2021) 597; <https://doi.org/10.1002/chir.23349>
- [4] L. Pasteur, "Mémoire sur la relation qui peut exister entre la forme cristalline et la composition chimique, et sur la cause de la polarisation rotatoire", *C. R. Acad. Sci., Paris*, 26 (1848) 535.
- [5] L. Pasteur, "Sur les relations qui peuvent exister entre la forme cristalline, la composition chimique et le sens de la polarisation rotatoire", *Ann. Chim. Phys.*, XXIV (1848) 442.
- [6] C. Polcar, "Pasteur, chimiste", in: M. Schwartz (editor), "Louis Pasteur le visionnaire" (Ed. de la Martinière, Paris) 2017, pp. 16-29.
- [7] E. Kinne-Saffran, R. K. Kinne, "Vitalism and synthesis of urea. From Friedrich Wöhler to Hans A. Krebs", *Am. J. Nephrol.*, 19 (1999) 290.
- [8] R. B. Grossman, "Van 't Hoff, Le Bel, and the Development of Stereochemistry: A Reassessment", *J. Chem. Educ.*, 66 (1989) 30.
- [9] Davy Medal - Wikipedia.
- [10] L. D. Barron, "From Cosmic Chirality to Protein Structure: Lord Kelvin's Legacy", *Chirality*, 24 (2012) 879.
- [11] Lord Kelvin, "Baltimore Lectures on Molecular Dynamics and the wave Theory of Light" (Cambridge University Press) 1904.
- [12] K. Schmid, D. Marx, A. Samal, "Computation of a Face Attractiveness Index Based on Neoclassical Canons, Symmetry, and Golden Ratios", *Pattern Recogn.*, 41 (2008) 2710.
- [13] L. Pasteur, P. Levi, with a postscript by G. Jona-Lasinio: "Chiralità – La vita è asimmetria?" (Gattomerlino/Superstripes, Roma) 2013, pp. 62. For a book review see *Il Nuovo Saggiatore*, 38, N. 3-4 (2022). For a discussion on 1883 Pasteur's conference see also:
- A. Sevin, "Pasteur and Molecular Chirality", Bibnum (Online), *Chimie*, <http://journals.openedition.org/bibnum/459>
- [14] N. Goldenfeld, C. Woese, "Life is physics: evolution as a collective phenomenon far from equilibrium", *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.*, 2 (2011) 375; "Biology's next revolution", *Nature*, 445 (2007) 369.
- [15] R. Hoffmann, "The same and not the same" (Columbia University Press) 1997.
- [16] W. Gong, Z. Chen, J. Dong, Y. Liu, Y. Cui, "Chiral Metal-Organic Frameworks", *Chem. Rev.*, 122 (2022) 9078; <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00740>
- [17] Y. Huang, T. Hayashi, "Chiral Diene Ligands in Asymmetric Catalysis", *Chem. Rev.*, 122 (2022) 14346; <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00218>
- [18] H. M. Tay, N. Kyrtziz, S. Thoonen, S. A. Boer, D. R. Turner, C. Hua, "Synthetic strategies towards chiral coordination polymers", *Coord. Chem. Rev.*, 435 (2021) 213763.
- [19] C. D. Aiello et al., "A Chirality-Based Quantum Leap", *ACS Nano*, 16 (2022) 4989.
- [20] F. Wu, Y. Tian, X. Luan, X. Lv, F. Li, G. Xu, W. Niu, "Synthesis of Chiral Au Nanocrystals with Precise Homochiral Facets for Enantioselective Surface Chemistry", *Nano Lett.*, 22 (2022) 2915.
- [21] C. Shekhar, "Chirality meets topology", *Nat. Mater.*, 17 (2018) 953.
- [22] Y. Liu, J. Xiao, J. Koo, B. Yan, "Chirality-driven topological electronic structure of DNA-like materials", *Nat. Mater.*, 20 (2021) 638.
- [23] N. A. Kotov, L. M. Liz-Marzán, P. S. Weiss, "Chiral Nanostructures: New Twists", *ACS Nano*, 15 (2021) 12457.
- [24] C. Genet, "Chiral Light-Chiral Matter Interactions: an Optical Force Perspective", *ACS Photon.*, 9 (2022) 319.
- [25] H. Chen, W. Wu, J. Zhe, Z. Yang, W. Gong, W. Gao, S. A. Yang, L. Zhang, "Chiral Phonon Diode Effect in Chiral Crystals", *Nano Lett.*, 22 (2022) 1688.
- [26] V. Crupi, G. Guella, S. Longeville, D. Majolino, I. Mancini,

- A. Paciaroni, B. Rossi, V. Venuti, "Influence of Chirality on Vibrational and Relaxational Properties of (S)- and (R,S)-Ibuprofen/methyl- β -cyclodextrin Inclusion Complexes: An INS and QENS Study", *J. Phys. Chem. B.*, 117 (2013) 11466.
- [27] P. Couillet, J. Lega, B. Houchmandzadeh, J. Lajzerowicz, "Breaking chirality in nonequilibrium systems", *Phys. Rev. Lett.*, 65 (1990) 1352.
- [28] Y. Liu, G. Bian, T. Miller, T.-C. Chiang, "Visualizing Electronic Chirality and Berry Phases in Graphene Systems Using Photoemission with Circularly Polarized Light", *Phys. Rev. Lett.*, 107 (2011) 166803.
- [29] T. Pichler, "Unraveling Electron Chirality in Graphene", *Physics*, 4 (2011) 79.
- [30] X. Sun, G. Adamo, M. Eginligil, H. N. S. Krishnamoorthy, N. I. Zheludev, C. Soci, "Topological insulator metamaterial with giant circular photogalvanic effect", *Sci. Adv.*, 7 (2021) eabe5748.
- [31] N. B. M. Schröter, D. Pei, M. G. Vergniory, Y. Sun, K. Manna, F. de Juan, J. A. Krieger, V. Süß, M. Schmidt, P. Dudin, B. Bradlyn, T. K. Kim, T. Schmitt, C. Cacho, C. Felser, V. N. Strocov, Y. Chen, "Chiral topological semimetal with multifold band crossings and long Fermi arcs", *Nat. Phys.*, 6 (2019) 759.
- [32] S. Mukhopadhyay, "Chirality in nuclei: where do we stand today?" *Proc. DAE Symp. Nucl. Phys.*, 56 (2011) 117.
- [33] V. I. Dimitrov, S. Frauendorf, F. Döna, "Chirality of nuclear rotation", *Phys. Rev. Lett.*, 84 (2000) 5732.
- [34] B. Riemann, *Abh. Kön. Ges. Wiss. (Göttingen)*, 9 (1860) 1.
- [35] C. S. Wu, E. Ambler, R. W. Hayward, D. D. Hoppes, R. P. Hudson, "Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay", *Phys. Rev.*, 105 (1957) 1413.
- [36] H. Postma, W. J. Huiskamp, A. R. Miedema, M. J. Steenland, H. A. Tolhoek, C. J. Gorter, "Asymmetry of positron emission by polarized ^{58}Co nuclei", *Nucl. Phys.*, 23 (1957) 259.
- [37] Y. Timsit, "DNA Self-Assembly: From Chirality to Evolution", *Int. J. Mol. Sci.*, 14 (2013) 8252; doi:10.3390/ijms14048252
- [38] A. Salam, "The role of chirality in the origin of life", *J. Mol. Evol.*, 33 (1991) 105.
- [39] M. Kamionkowski, A. Kosowsky, A. Stebbins, "A Probe of Primordial Gravity Waves and Vorticity", *Phys. Rev. Lett.*, 78 (1997) 2058.
- [40] L. D. Barron, "Cosmic Chirality both True and False", *Chirality*, 24 (2012) 957.
- [41] A. Brandenburg, "Chirality in Astrophysics", arXiv:2110.08117 (2021).
- [42] R. M. Pagni, "The weak nuclear force, the chirality of atoms, and the origin of optically active molecules", *Found. Chem.*, 11 (2009) 105.
- [43] D. Avnir, D. Huylebrouck, "On Left and Right: Chirality in Architecture", *Nexus Netw. J.*, 15 (2013) 171.
- [44] Z. Lin, J. Sun, A. Davis, N. Snavely, "Visual Chirality", *Proc. IEEE/CVF Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, (2020) pp. 12295-12303.
- [45] S. Caccamese, "Chirality from Chemistry to Art and Nature: personal observations", *BOLLAG*, Vol. 51, N. 381 (2018) 146.
- [46] J. Gal, "Pasteur and the art of chirality", *Nat. Chem.*, 9 (2017) 603.



Giorgio Benedek

Giorgio Benedek is Professor Emeritus of Structure of Matter at the University of Milano-Bicocca, Director of the International School of Solid State Physics and Co-Director of the International School of Complexity at the Ettore Majorana Foundation and Center for Scientific Culture in Erice, and Visiting Professor at the Donostia International Physics Center (DIPC) in San Sebastian, Spain. He is the author of more than 450 publications in condensed matter physics and editor of a few books in the field of physics and topology of low-dimensional systems.



Giuseppe Caglioti

Degree in Physics (Rome 1953), specialization in Nuclear Physics (1953-1954) and in Nuclear Science and Engineering (1955-1956). Researcher and visiting professor at Universities and National Laboratories in USA and Canada. Author of about 190 publications, three patents and five books, one of which also translated into English, German, Russian and Japanese. At Politecnico di Milano, from 1970 Professor of Structure of Matter and Aesthetics – Scientific Components of Harmony and Beauty; since 2006 Professor Emeritus. Member of Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, fellow emeritus of the Società Italiana di Fisica and of the World Academy of Art and Science.

CYTOSKELETON AS A NEW TARGET IN RADIATION BIOLOGY

SIMONETTA CROCI*, MASSIMO MANGHI

Dipartimento di Medicina e Chirurgia, Università di Parma, Parma, Italy

Trento Institute for Fundamental Physics and Applications (TIFPA), National Institute for Nuclear Physics (INFN), Trento, Italy

Radiotherapy is a rapidly developing field on several fronts involving on the one hand, the use of different types of beams (protons, heavy ions, neutrons, electrons) and, on the other hand, different delivery modalities, including the recent attention to ultra-high dose rate (FLASH). All these radiation types elicit specific responses from biological systems and must be optimized to increase the probability of tumor control while decreasing the probability of complication in the healthy tissue. To make the clinical choice more appropriate, physical and biological processes must be understood and then modelled. The first and fundamental studies that cannot be avoided are studies on monolayer cell cultures, which are part of what are called *in vitro* studies. In this paper we argue that, in addition to DNA, the microtubules network is a different target which could open new perspectives for understanding radiation effects in humans.

1 Introduction

Radiation therapy (RT) is the usual and effective treatment for over 50% of cancer patients. Many improvements have been made in precision and planning over the years to achieve the best relationship between optimal dose to the tumor and the lowest possible dose to the surrounding tissue [1]. In this process there are two aims: the first is containment and eradication of the tumor mass, increasing the Tumor Control Probability (TCP); the second, of equal importance, is the reduction of complication in normal tissues, lowering the Normal Tissue Complication Probability (NTCP) (see fig. 1).

Two are the fronts on which to act, shifting the curves one to the right and the other to the left to maximize the effect of radiotherapy, to widen what is called the therapeutic window.

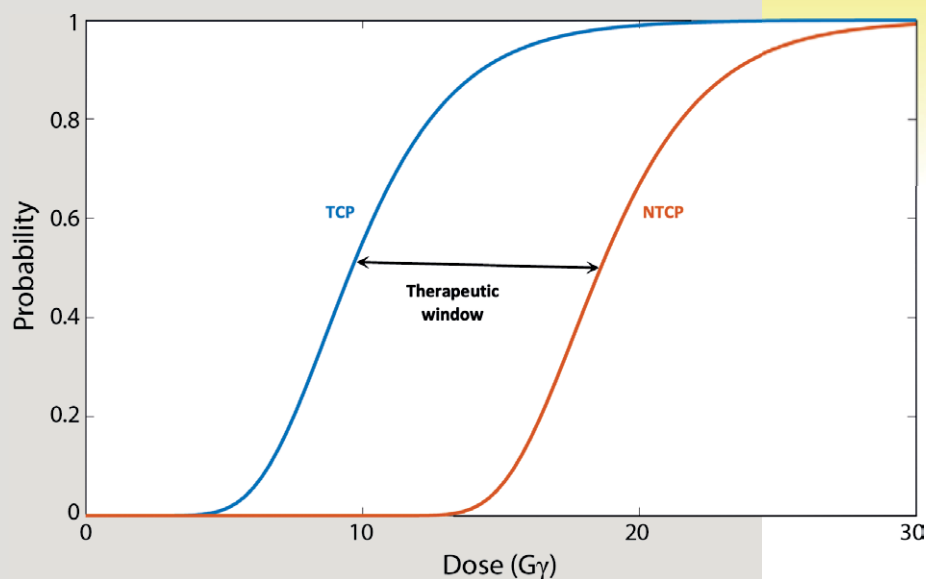


Fig. 1 Tumor Control Probability (TCP) and Normal Tissue Complication Probability (NTCP) curves as a function of the dose to the target volume.

* E-mail: simonetta.croci@unipr.it

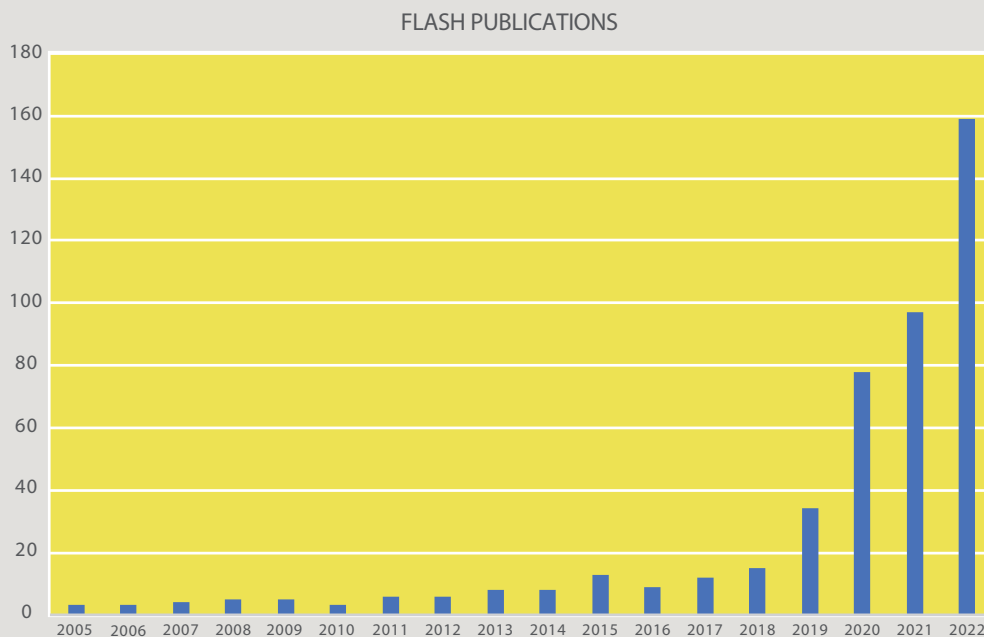


Fig. 2 Number of publications by year with the following keywords: FLASH, radiation and radiotherapy (from SCOPUS citation database).

Besides radiation therapy with photons, radiation therapy with protons and heavy ions has emerged, providing a viable alternative if clinical evaluation deems it appropriate [2, 3].

Ultra-high dose-rate RT (FLASH RT) is potentially a revolution in this field, as can be seen from the growing number of publications (fig. 2).

FLASH-RT is an innovative irradiation technique that involves the ultra-fast delivery (microseconds) of radiation at dose rates several orders of magnitude greater than those currently used in routine clinical practice (minutes) [4]. Increasing evidence indicates that FLASH-RT reduces normal tissue damages, while maintaining tumor growth inhibition, compared to conventional RT, widening therefore the therapeutic window.

In this context of ever-increasing radiotherapy alternatives, for clinicians to be able to determine which radiotherapy procedure is the most appropriate in terms of irradiation modality, radiation type, and beam characteristics, the knowledge of the

effects of such irradiations on the different biological systems must as well increase. There are still many open questions such as radioresistance in cancer tissues, induction of secondary tumors (especially for pediatric patients), and interaction between radiation and the immune system. Answer to these questions will help defining an interpretative model for clinical decisions.

A further element to be considered is the time. The cellular response in terms of time to a stimulus could involve time scales ranging from nanoseconds to years (a time scale variation that spans 22 orders of magnitude) from physics interactions to biological effects. Because of the complexity of this system, classical radiobiology studies using *in vitro* cell cultures under controlled conditions remain the experimental basis for testing the proposed models.

As in other fields of physics, establishing a model able to explain different phenomena that is not contradictory or deficient as the

system becomes more and more complex is increasingly challenging. Explaining with the same model cell survival in non-cancer and cancer cells subjected to different irradiation modalities, under different conditions (e.g., normoxic or hypoxic) taking into account cell biology, biochemical repair mechanisms and cell response phenomena, is an unsurmountable problem.

This article is divided into two parts. The first presents some of the key endpoints of the *in vitro* studies on monolayer (2D) irradiated cell cultures, such as cell survival, DNA damage, and a new type of detectable modification on microtubules. The involvement of these measurable markers in radiobiology studies are the experimental key comparison data for modeling radiation effects on biological systems.

The second part will describe recent studies applications of these endpoints to demonstrate the exploitation of *in vitro* studies in this context.

2 Endpoints of *in vitro* studies

2.1 Cell survival

Survival curves are undoubtedly the focal tool of radiobiology studies. These curves are obtained by quantifying the effects of radiation on cell survival as a function of the administered dose by means of clonogenic assay [5].

Clonogenic assay attempts to assess the ability of cells to grow into a colony after a treatment. Colonies containing more than 50 cells were considered as surviving and counted. There are hundreds of clonogenic assay studies, to test the survival of different cells from different tissues exposed to different irradiation types and conditions. Survival curve studies are also relevant to the development of the radiotherapy treatments.

For decades mechanistic approaches attempted to explain such curves on the basis of the interaction of radiation with biologically relevant structures either directly or mediated by ionized molecules [6]. Attempt to explain the experimental data varied from simple models, where the damage was estimated from the probability of hitting a cell's vital targets, to more complex dynamical systems, where the effects of radiation were hypothesized to work in dynamical interplay with the repair mechanisms that can restore sublethal damages. The goal of such studies was meant to provide conceptual interpretation frameworks that could explain the observed data of cell death and changes in proliferation rate.

Despite the considerable sophistication developed in some mechanistic approaches, the reference model for studies ranging from clinical applications to radiobiological research is the linear quadratic model (LQ) [7], a model that because (and despite) its simple mathematical formulation is still the widespread tool to interpret and compare experimental data:

$$S = e^{-\alpha D - \beta D^2},$$

where S is the cell survival and D the single administered dose. This curve exhibits a typical shouldered behavior at low doses which many survival curves derived from simple mechanistic processes fail to reproduce. The curve behavior is determined by the ratio α/β (see fig. 3), which has units of Gy, and expresses the dose value at which the phenomena accounted for by the two terms give equal contributions and controls the curvature behavior as the doses increase.

Early attempts to explain the survival curves such as the single-target single-hit model [8] suggest an interpretation for the linear term as the contribution given by intra-track events whereas the quadratic term derives from inter-track lesions. Despite such plausible interpretation, the real nature of the LQ law is basically empirical and its soundness resides on the ability of fitting data at dose ranges of interest in fundamental radiobiological research and in radiation oncology, even though model analysis and simulations show that many molecular mechanisms

are still not sufficiently understood to precisely explain this law from the underlying mechanisms. Nonetheless the LQ model is a *de facto* reference curve in a wide range of applications and in the case of radiation oncology it has been pointed out that it has proved a fundamental and robust tool for therapeutical protocol design and comparison, whereas attempts to adopt different modes failed to pay off and even led to clinical protocols failure [9]. LQ is widely used in radiation effects modeling oriented to clinical application.

Survival curves depend on both intrinsic and extrinsic factors. The former relates to the different cells inherent radiosensitivity. The α/β ratio drawn from the LQ model is also used to characterize the inherent radiosensitivity of a cell type: if the α/β value is between 1 and 4 Gy cells are considered as belonging to late-responding tissues (*e.g.* heart, lung, breast), having low turnover and many non-cycling cells, which gives a reduced radiation sensitivity as cells can remain functional if not stimulated

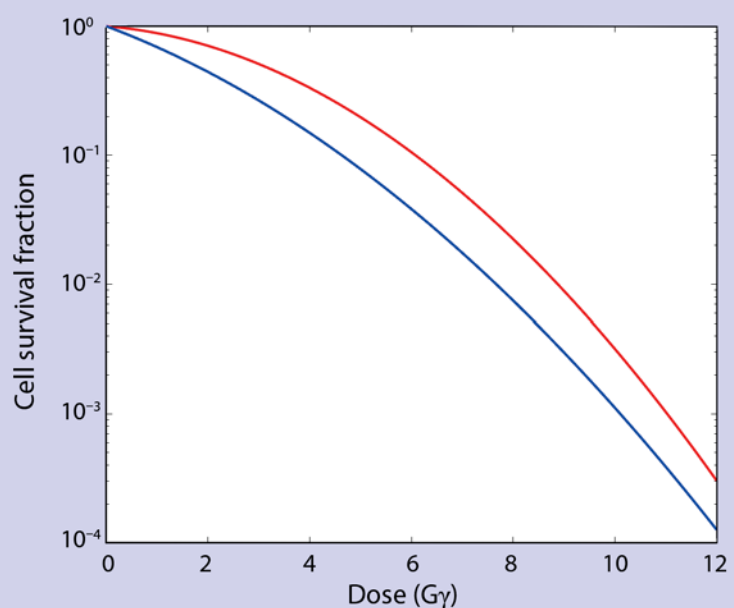


Fig. 3 The linear-quadratic (LQ) model of the cell survival for $\alpha/\beta = 1.5$ (red line) and 10 (blue line).

to divide [10]. On the other hand an α/β ratio value comprised between 8 and 15 Gy characterizes early responding tissues (e.g. skin, hair, mucosa, bone marrow, and also tumors) although there are several exceptions as prostate tumors tissues [11,12] that feature survival curves with a low α/β value.

Since α/β is the parameter that rules the survival curve "shoulder" its value is crucial for the determination of the fractionation scheme in radiotherapy treatments. The cell survival curve for late-responding tissues, which has a more curved shape compared to early-responding tissues after photon irradiation, allows more healthy tissues sparing when the dose is fractionated since fractionation increases mortality differences among cell populations with different inherent radiosensitivity.

In this context, van Leeuwen *et al.* [13] reviewed the LQ parameters from published clinical studies of human tumors aiming to develop guidelines for the selection of appropriate radiobiological parameter values in clinical radiotherapy. Cell survival data measured after exposure to ion beams and photon reference radiation are available on the particle irradiation data ensemble (PIDE) database [14] recently updated [15].

In addition to the intrinsic effects described above, the survival curve

is strongly influenced by extrinsic conditions such as the oxygen concentration and the radiation quality.

In the presence of oxygen, radiation creates highly reactive species – Reactive Oxygen Species (ROS) that lead to oxidative stress and induce and regulate many cellular processes. As a result of the interaction of radiation with water molecules and in the presence of oxygen, secondary reaction products ($O_2^{\cdot-}$, H_2O_2 , H^+ , $OH^{\cdot-}$, etc.) are created [16]. The chemical environment is crucial in the damage delivery. Oxygen is thought to be very important being extremely reactive with the radiation-induced free radicals and greatly contributes in making a radiation lesion permanent (oxygen fixation hypothesis). On the contrary the lack of oxygen allows DNA radicals to be reduced by compounds containing sulfhydryl groups (SH groups) that contribute to restore the DNA to its original form.

This effect according to ICRP 127, led to the definition and quantification of the Oxygen Enhancement Ratio (OER) as the ratio of the absorbed dose required to cause the same biological endpoint in hypoxic conditions as in normoxic conditions. Hypoxia often occurs in the middle of a rapidly growing tumor. In contrast to normal blood vessel networks,

the tumor vasculature comprises a chaotic and disorganized network with dysfunctional vessels. Chronic or diffusion-limited hypoxia arises from the oxygen diffusion limit of approx. 100 μm and is therefore relevant for cells that do not have access to a blood vessel within this limiting distance (see fig. 4).

The oxygen tension in normal tissues ranges from 30 to 52 mmHg (corresponding to 3.9 to 6.8% oxygen concentration in the gas phase at sea level), while tumoral oxygen tension ranges between 5.3 and 14 mmHg (0.7 to 1.8%), often with a considerable fraction of cells having concentrations below 5 mmHg [17]. *In vitro* cell culture studies are mostly conducted at an oxygen concentration of 21%, introducing a *de facto* bias.

Among the extrinsic factors, the survival curves are also influenced by the radiation quality to which the cellular population is subject. The Linear Energy Transfer (LET) differentiates between radiation types having low and high ionization densities, the first type being photons and electrons and the second protons and ions. As the LET increases, the sensitivity of the cells also increases and the survival curve at low doses drops faster as the alpha parameter grows.

2.2 DNA damage and repair

As already mentioned, it was soon recognized that DNA is the most important cellular radiation target to study, and thus many studies aim at the quantification of DNA damages following irradiation.

Classically the DNA damage can be distinguished between direct and indirect DNA damage, the direct damage being caused by the direct ionization of atoms belonging from DNA macromolecule while the indirect damages are due to the interaction of free radicals created by the radiation action mainly on water molecules. About 30-40% of DNA lesions are caused by direct interaction while

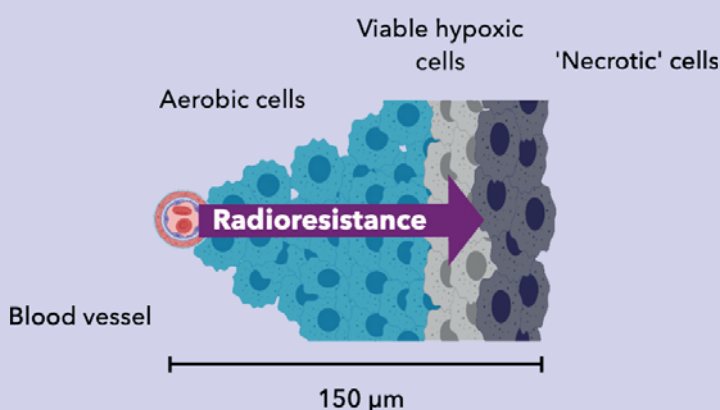


Fig. 4 Schematic representation of a tumor hypoxic tissue and the increasing cell radioresistance with the distance from blood vessel.

the remaining 60-70% are caused by indirect interactions after exposure to X-rays. The most relevant radiation-induced DNA lesions are the strand breaks, either in one filament (single-strand break: SSB), or in both (double-strand break: DSB) or a cluster if two or more lesions are present in a region of 10-20 base pairs (bp) (fig. 5).

Clustered damage has been recently visualized [18] by atomic force microscopy (AFM) and more detailed classifications have been created for the application of Monte Carlo simulations.

Damage to DNA occurs due to environmental factors and normal metabolic processes inside the cell, with a rate of approximately 50000 SSB per cell per day and 10 DSB per cell per day [19]. However once created, these damages can be repaired by different pathways: non-homologous end-joining (NHEJ), homologous recombination (HR), single-strand annealing (SSA), and alternative end-joining mechanism (Alt-NHEJ). DSB repaired by NHEJ does not depend on the cell cycle and it is more prone to errors while HR depends on the phase of the cell cycle and can occur only in the presence of the homologous chromosome or the newly synthesized sister chromatid, thus only during or subsequent to DNA duplication. Alt-NHEJ repair of DSBs occurs mostly in the G2 and S phase but also in G1, it is considered a feedback mode in case something in NHEJ or HR pathways processes fails and it is prone to errors giving rise to genomic instability [20]. In all these pathways, when the repair of the DNA is successful, cells survive and are restored to normality. Nevertheless, if the DNA repair mechanisms fail to do so, chromosomal aberrations and mutations lead to cell death (mitotic catastrophe, senescence, necrosis or apoptosis), or can cause neoplastic transformation of surviving cells (fig. 6).

DSB measurements can be made mainly following two different procedures: one based on the direct detection of DSB measuring DNA

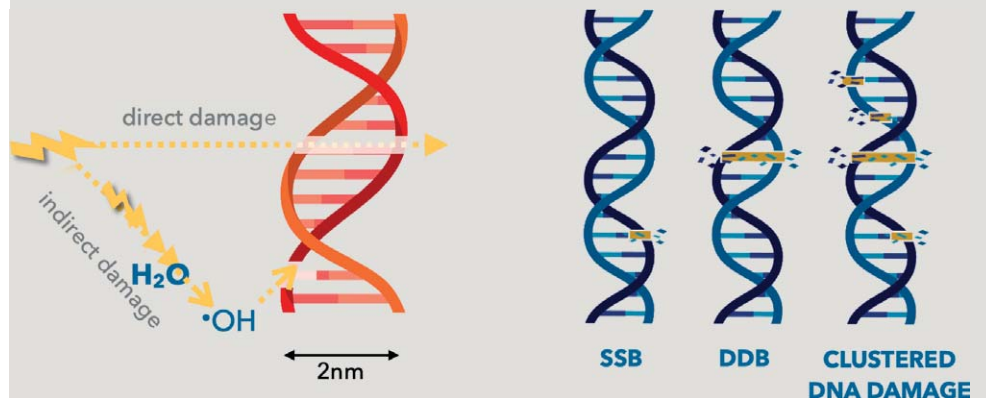


Fig. 5 Schematic representation of DNA damages: single when is on one filament: single-strand break (SSB), double on both filaments: double-strand break (DSB) or a cluster if two or more lesions are present in a region of ten/twenty base pairs (bp).

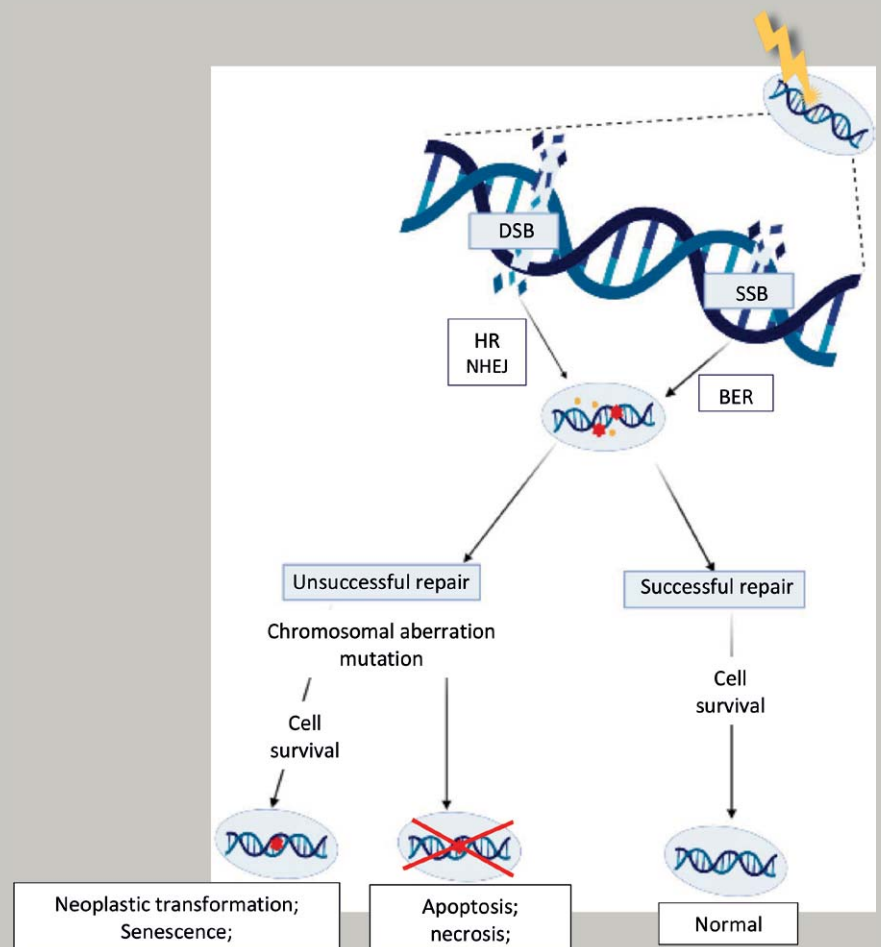


Fig. 6 Schematic representation of DNA repair pathways.

fragments by electrophoresis-based approaches, the other by evaluating the molecular response to DSB detecting the radiation-induced foci (RIF) by fluorescent microscopy, the latter method currently being the preferred one.

All electrophoresis-based strategies require large doses of ionizing radiation, usually greater than 2 Gy. This dose is considered the reference dose of many *in vitro* studies since conventional radiotherapy treatment plans are fractionated into 2 Gy doses. Electrophoresis-based strategies can be reassessed at doses characteristic of hypo-fractionated treatments or in methods (FLASH) where the effects seem to appear at doses around or higher than 10 Gy [21].

In order to understand the mechanism that leads to cell death after irradiation for a complete modelling, it is important to be able to quantify the damage to sites that are considered viable to the cell and how the cell repairs the damages.

The effectiveness of ionizing radiation in inducing cell damage is highly dependent on the quality of the radiation. High-LET radiations induce lower survival, depending on the cell system studied, compared to low-LET radiations, as described in the previous section on survival curves.

If one accepts that DSB plays a key

role in cell inactivation, two aspects must be taken into account when considering the higher efficacy of densely ionizing radiation. The first is the quantity of lesions, the second is the different repair capability.

In [22] the study using an electrophoresis-based method was conducted in a range from 5 Gy to 80 Gy showing that after 120 min the amount of DSB left unrejoined reached a plateau. In particular the study, carried out with particles of various LET, gives further experimental support to the notion that the yield of induced DSB has a poor dependence on radiation quality while, in contrast, the time-course of DSB rejoining is strongly dependent on it.

The complexity of the repair mechanisms and the difficulty in counting fragments of DNA in close proximity to each other (*i.e.* closer than 23 kbp) has been also underlined in a recent study aiming at the extension of a Geant4-DNA radiobiological application by incorporating a feature for the prediction of DNA rejoining kinetics and corresponding cell surviving fraction along time after irradiation [23].

The second method, the radiation-induced foci (RIF) quantification, is an indirect way to detect DNA damage by evaluating DNA repair.

The DNA in cells organizes itself into a complex structure, the chromatin, by making use of proteins (histones)

around which DNA coils (see fig. 7).

The histone DNA complex forms the functional unit of chromatin. The histone is actually not a single protein but an octamer whose monomers belong to four protein families.

When a DSB occurs, chromatin must relax to allow for repair. Among these modifications that alter chromatin structure is the phosphorylation of the amino acid serine139 (at position 139) of the H2AX protein through addition of a phosphate group [24]. The phosphorylation of the amino acid serine leads to the formation of the protein γ -H2A2, this process takes few minutes from the moment of DNA damage and triggers the cascade of events for repair, including the binding to the damaged site of a large number of γ -H2A2 proteins, a number estimated to be around 2000 γ -H2A2 for each DSB [25]. About 1% of the H2AX protein in the nucleus is phosphorylated per unit radiation dose (in Gy).

The immunocytochemical γ H2AX detection using a phosphor-specific antibody for the phosphorylation on Ser 139 at the C-terminus of H2AX is based on the assumption that the intensity of immunofluorescence correlates stoichiometrically with the frequency of DSB. The phosphorylated histone isoform can be detected, quantified and imaged in the so-called γ H2AX foci [26].

To be exhaustive, foci can

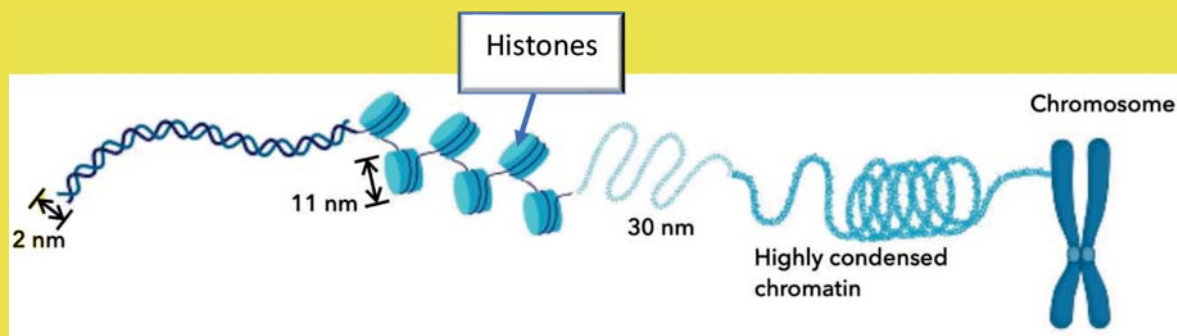


Fig. 7 Packaging of DNA within the nucleus from double-stranded DNA to the chromatid of a chromosome.

be identified not only on the phosphorylation of the H2A2 protein, which is modified near the damage sites, but also on two other families of proteins, one that is recruited to the locations of damage sites, such as 53BP1, MRE11, or NBS1 and the other resulting from both processes, such as phosphorylated ATM (Ataxia Telangiectasia Mutated gene).

γ H2AX foci are visualized through fluorescence microscopy as spots in the nucleus with a maximum reached after 30 min from irradiation.

This technique makes it possible to assess the number of foci (spots) per nucleus, which is proportional to the number of DSBs; the spatial distribution of foci in the individual nucleus may depend on the quality of the radiation but also on the state of oxygenation of the tissue. Furthermore, the size of the foci may depend on the complexity of the DSB but also on the number of DSBs.

Although RIF identification is increasingly used, it suffers from some limitation concerning the localization and quantification of foci, discrepancies arising from manual rather than automated counting, and the most difficult to overcome is signal saturation at high doses. This aspect is particularly delicate at high doses. Concerning the counting procedures, machine learning models were tested for the counting and identification of foci with a matching

>0.9 and a sensitivity of approximately 0.90, while for better localization confocal or super-resolved microscopy have been applied [27, 28] (fig. 8).

Due to the amount of literature data and the increasing of Monte Carlo models, a new Standard DNA Damage (SDD) Data format has been developed and adopted by the community to allow a more efficient comparison of results coming from different experimental setup and simulations [29]. This helps to accelerate the possibility of understanding the cell response mechanisms including the involvement of DNA damage and repair. Because the process is spanning several orders of magnitude in time and in space, from 10^{-18} sec after the irradiation to days and from nanometers to millimeters, multiscale models are required. The cell survival curve as well as the DNA damages identification are the experimental data that feed the Monte Carlo simulation, as it is sketched in the diagram of fig. 9.

The workflow shows the steps involved in the different stages, from the energy deposition to the survival curve modelling, together with the role of the experimental data. The first blue box contains the volume and target characteristics, the beam and radiation field parameters, and how long after irradiation the simulation ends. The target can be identified as DNA and

the volume as the space occupied by the folded DNA or by the nucleus. If we refer to the spatial dimension, it ranges from micrometers of the nucleus to nanometers of the DNA. The results of energy deposition and particle track modelling allow the identification of damage sites by scoring them.

These will then be compared with the experimental results, yellow hexagons, obtained, *e.g.*, by electrophoresis-based techniques or by foci counting. The next step involves the use of methods for calculating and simulating the repair processes and the subsequent comparison with the experimental data obtained after the activation of the repair mechanisms mentioned above.

This process concludes with the integration of the reparation mechanisms into the models, describing the survival data obtained from the measurements of the clonogenic assays, as in case of the application of BIANCA (Biophysical ANalysis of Cell death and chromosome Aberrations) model [30].

2.3 Membrane and microtubules damages

As extensively described, the damage target of ionizing radiation almost uniquely studied is the nuclear DNA, nevertheless there are other structures that are essential to cell life. The identification of new targets

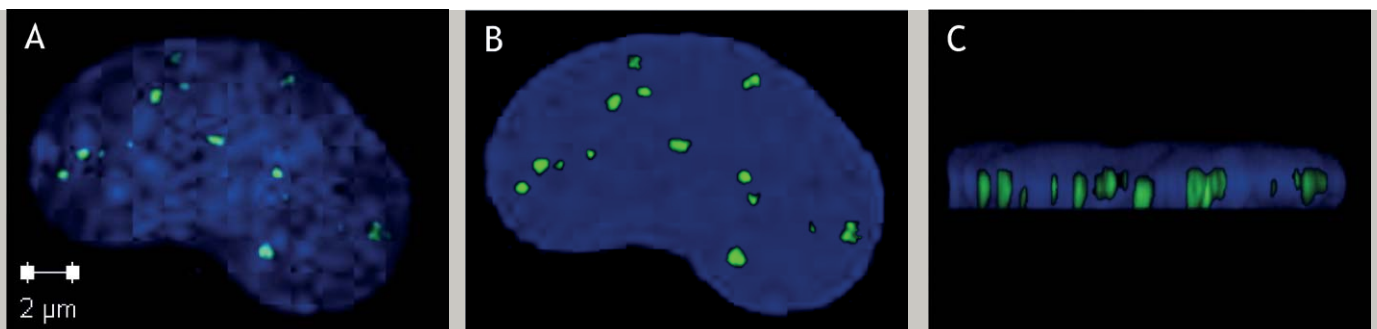


Fig. 8 Labelling by immunofluorescence of gamma-H2AX acquired with confocal microscopy [28]. From: G. Gruel, C. Villagrasa, P. Voisin, I. Clairand, M. Benderitter, J.-F. Bottollier-Depois *et al.*, "Cell to Cell Variability of Radiation-Induced Foci: Relation between Observed Damage and Energy Deposition", *PLoS ONE*, 11(2016) e0145786, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145786>. © 2016 Gruel *et al.*

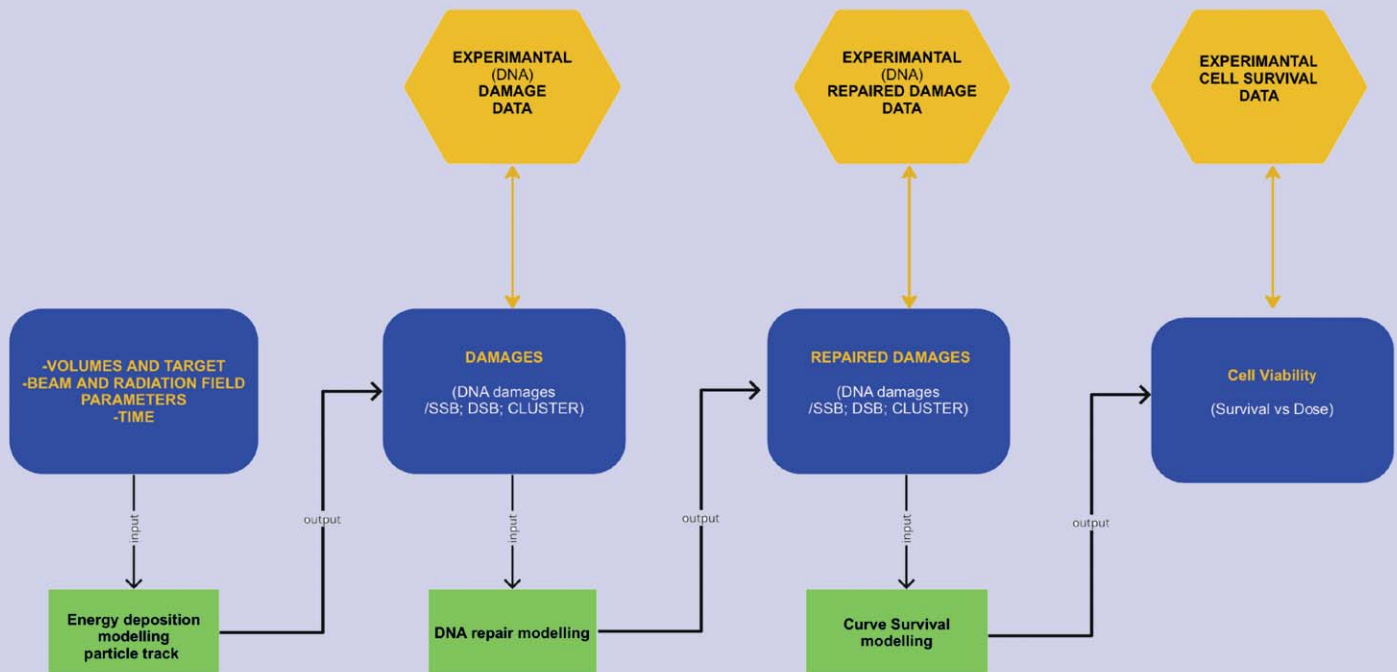


Fig. 9 The workflow shows the steps involved in the different stages, from the energy deposition to the survival curve modelling, together with the role of the experimental data. The blue boxes represent the input or output data of the simulations. The green boxes represent the calculation and simulation processes, while the yellow hexagons are the experimental data.

requires that we find new parameters for quantifying damages that have to be studied as a function of dose and radiation quality.

The final goal would be to validate an assay capable of quantifying the damages born to the whole cell cytoskeleton or membrane as target of radiations, in the same way as it is usually done for DNA.

Among all the cell structures our group focus is on the cell membrane and cytoskeleton, [fig. 10](#).

The cell membrane is made up of a phospholipid bilayer, the properties of phospholipid molecules allow them to spontaneously form a double-layered membrane. The phosphate group head of a phospholipid is hydrophilic, whereas the phospholipid tail is hydrophobic.

Cell membrane identifies the cell edge, selective transports ions and molecules also allowing the gas and small molecule diffusions (O_2 , H_2O). Ionizing-

radiation-induced modifications of ion channels and transporters have been reported [31]. Membrane disruption by ionizing radiation as in the case of brain not only leads to cell death by stimulating apoptosis and autophagy, but also further damages the DNA due to the reactions of highly reactive byproducts, such as malondialdehyde, with DNA nucleotides [32].

The cytoskeleton structures are formed by microfilaments, intermediate filaments and microtubules. These are protein structures, which form a cell web where all the organelles are embedded. Cytoskeleton makes up not only the cell scaffold, but it is something beyond that. It is possible to compare the cytoskeleton with reference to the microtubules (MT) to railway systems to transport organelles, a docking site for molecular components crucial for cell life. Cytoskeleton is also a central player in the process of cell migrations and

tissue invasion, notoriously important for immune system cells, cancer cells, and all cells need when migrating in response of chemotactic stimulus. Primary tumor cells lose their epithelial polarity and cell-cell adhesions. It is crucial to understand how these aggressive cells behave by looking at the details and investigating more cytoskeleton-related proteins such as tubulin and actin.

Microfilaments form stress fibers and they are also found near the cell edge grouped in bundles and organized in networks. The bundles are also arranged in parallel actin fibers. The actin protein fibres with a diameter of 4-7 nm give shape and structure to the cell. Microfilaments are involved in the movement of cells and organelles and are responsible for the contractile activity of muscle cells when partner with myosin proteins.

As an example of quantification

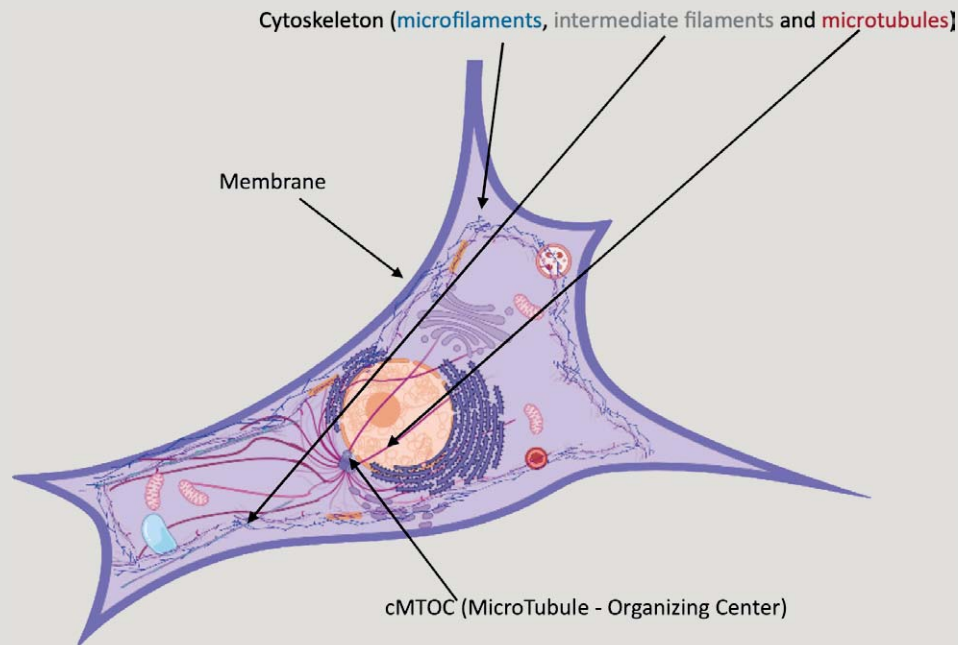


Fig. 10 Schematic representation of a cell organelles; the arrows indicate the proposed damage targets: cytoskeleton, membrane, cMTOC.

of damage we analyzed by atomic force microscopy (AFM) the Hs 578Bst cell line membrane after irradiation with 4 Gy X-ray photons. AFM has the greatest resolution among many other microscopes applied to the imaging of living and not living cells, since it is capable of sub-nanometer resolution. Among the different applications AFM can measure structural changes induced in and on the cell membrane, cytoskeleton, cytosol, changes in the cell shape and size and changes in cell deformability.

We defined a directionality parameter (MDI) that is a form factor of the angular spectrum computed from the 2D Fourier transform of an image marking the prevalence of rectilinear features throughout the picture. MDI demonstrated membrane damage of the Hs 578Bst cell line irradiated with 4 Gy X-ray doses typical of radiotherapeutic

fractionations, but did not detect significant damage to the cytoskeleton. In other words, the membrane, as if it were a blanket, assumes the shape of the actin fibers ordered structures underneath. When the membrane shows evident rearrangements as a result of irradiation, directionality is also lost. Measurements on denatured cells (membrane removed), show no significant differences in directionality. So, the MDI parameter in this case provided us with a measure of membrane damage and on the other hand demonstrated a lack of damage at least in terms of directionality of the actin fiber structure [33].

Among the cytoskeleton structures, we focus on microtubules. Microtubules are structural components characterized by multiple functions. These include the control of cell motility, intracellular transport and chromosome segregation.

Microtubules (MT) are one of the three components of the eukaryotic cell cytoskeleton. MTs are modular structures composed of protofilaments which are sequences of heterodimers made by pairs of α - and β -tubulin monomers ($\alpha\beta$ -tubulin protein) that align in a head-to-tail fashion. Filaments of $\alpha\beta$ -tubulin laterally associate eventually closing up to form a hollow wire-like structure made of 13 protofilaments.

MTs are dynamic structures which undergo constant elongation and shrinkage through polymerization and depolymerization in a phenomenon called treadmilling. The homeostasis of the MT lattice, alternatively defined as "dynamic instability," is thus controlled by the balance between the processes of adding and removing $\alpha\beta$ -tubulin heterodimers which determines the phases of growth and shortening of the tubules. The phase when the

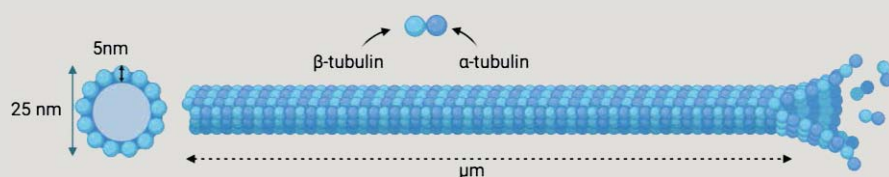


Fig. 11 Schematic representation of microtubules structure.

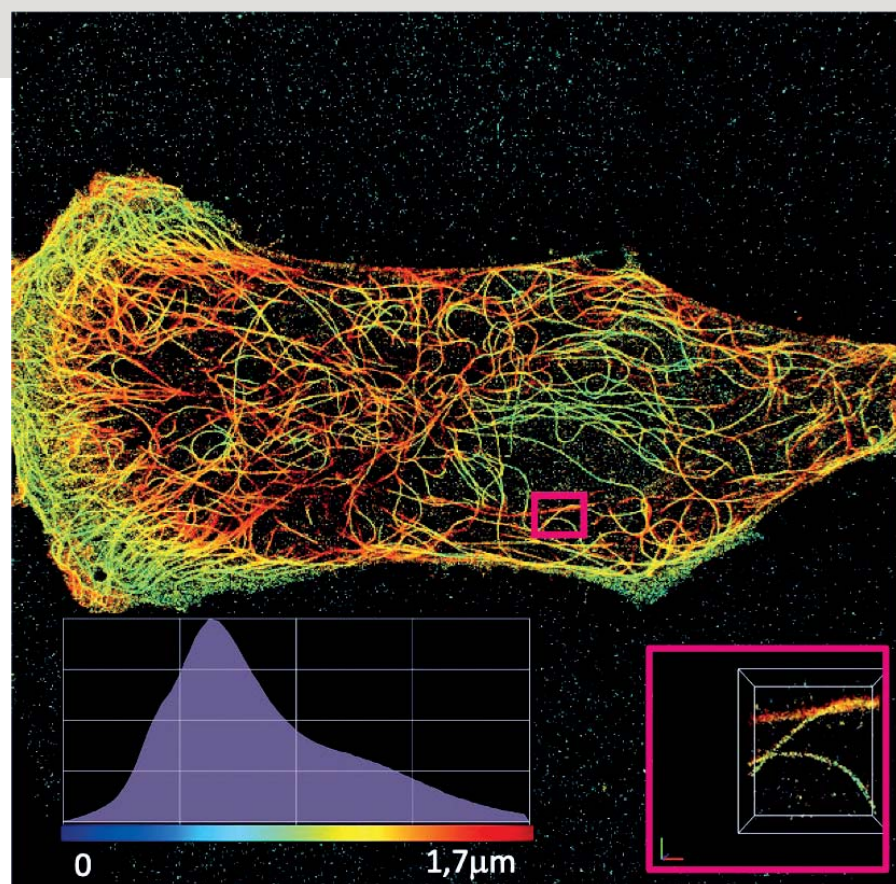


Fig. 12 Microtubule STORM image of a Hs 578 T cell (from a triple negative breast cancer cell line). α -tubulin probed with mouse anti-human primary antibody and goat anti-mouse AlexaFluor 555 as secondary antibody. The color scale represents the different height of the microtubules on the z-axis.

balance of the process tips in favor of a rapid depolymerization is called "catastrophe," whereas the opposite phase, where protofilaments recover, is called "rescue". MTs stretch out from cellular structures called MicroTubule Organizing Centers (MTOC) and extend toward the boundary of the cell. Even though MTOCs can be everywhere throughout the cell cytoplasm, the

MT density in fibroblasts is unevenly distributed and generally higher in regions far from the cell boundaries.

Changes in microtubule stability and the expression of different tubulin isotypes and altered post-translational modifications have been reported for various cancers. Emerging evidence suggests that tubulins and microtubule-associated proteins may play a role in

a range of cellular stress responses, thus conferring a survival advantage to cancer cells.

What makes MTs extremely attractive as IR targets is that they are very similar in size to DNA strands (see fig. 7 and fig. 11), occupying the entire cell unlike DNA that is confined to the nucleus. The endpoint that we propose to study is the MT curvature, that is connected with a mechanism called acetylation of the amino acid lysin in the position 40 of α -tubulin, abbreviated as K40 acetylation.

When microtubules are subjected to different types of stress, mechanical stress, oxidative stress as well as UVC radiation [34] the acetylation sites increase, allowing the microtubule to repair itself by preventing it from breaking. These sites become more flexible and therefore show higher curvature [35].

The site of higher curvature could be identified and studied as damage site and could become the benchmark for simulations that until now used exclusively DNA as target. This is nowadays possible thanks to the super-resolved technique that achieves a resolution around 20 nm, 10 times the conventional limit of optical microscopy (see fig. 12), such as that of stochastic optical reconstruction microscopy (STORM).

3 Examples

In the following section few examples of application of the methodologies and the endpoints so far outlined in studies with proton, ion beams and the FLASH mode irradiation will be presented.

In these contexts, many aspects remain to be elucidated, and the integrated use of *in vitro* studies on monolayer cultures remains the gold standard for the clinic indication and for a deeper understanding as well.

Hadron therapy is currently the

most advanced radiotherapy technique [3]. Proton therapy allows for better deep dose distribution than the established technique with photons. Protons deposit their energy according to the characteristic curve called the Bragg curve. By changing the energy of the accelerated protons, the range of penetration changes; the sum of multiple beams (Bragg peaks) allows defining a spread-out Bragg peak (SOBP) that covers the whole target volume, limiting the received dose to normal tissue.

Generally, dose calculation in proton treatment plans is obtained from the dose used with photons by taking the constant value equal to 1.1, the Relative Biological Effectiveness (RBE) [36]. RBE is defined as the ratio of doses to achieve the same effect when comparing two radiation modalities. An extensive literature has for years debated the appropriateness of RBE modulation, which varies according to LET, dose and α/β ratio. RBE values depend on the measured endpoints, dose, dose-rate and radiation LET, and it increases in the distal SOBP tail. The RBE-derived dose calculation could also be modulated according to a different cellular response, although this seems rather difficult to transfer to the clinic at the moment. In heavy-ion therapy, instead, the SOBP is always modulated with an RBE model [37].

In a recent study [38] by means of super-resolution microscopy, differences in the spatial distribution of DNA damage foci (see [fig. 13](#)) were analyzed after irradiation with an equal dose of X-ray photons and protons at entry plateau and at SOBP.

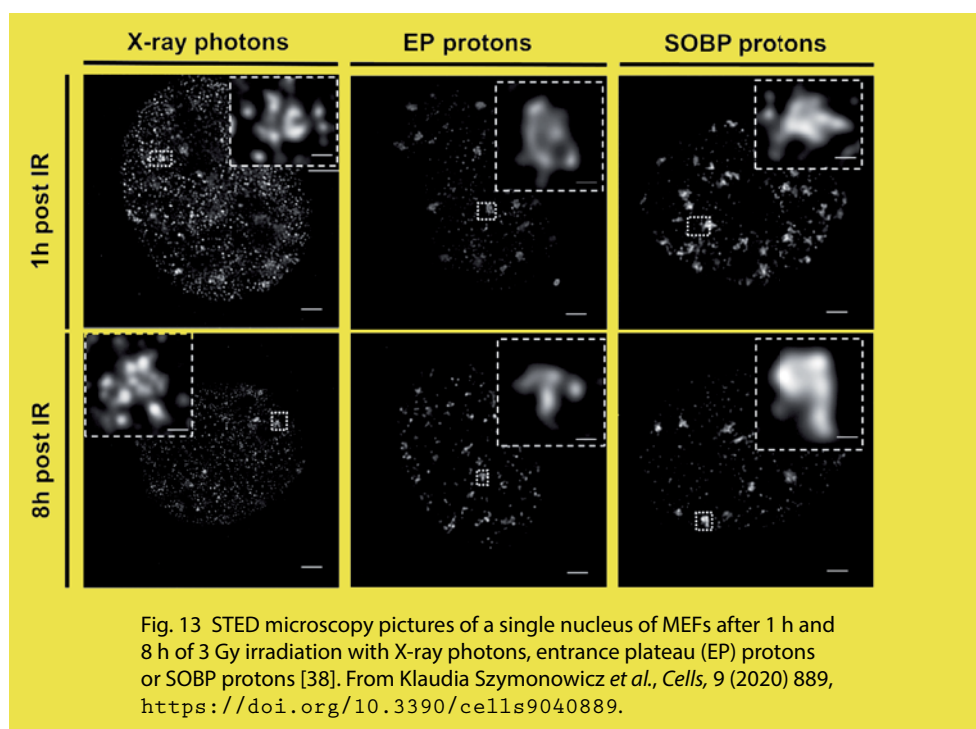
The improvement of detection methodologies has provided a better understanding of the induction and processing of DNA damage, especially complex, with significant impact in the field of cancer research and treatment strategies.

DNA damage foci were evenly distributed throughout the nucleus after X-photon irradiation, while clusters of DNA damage were evidenced with proton irradiation. The survival of cells with compromised repair mechanisms were compared, showing that the deficiency of essential NHEJ proteins delayed DNA repair kinetics and sensitized cells to both X-ray photon and proton irradiation, while deficiency of HRR proteins sensitized cells only to proton irradiation.

This study is a clear example how it could be possible to define predictive markers in the stratification of patients undergoing radiation therapy and possibly be applied for modulation of RBE.

For microscopy-based foci detection techniques, their evolution follows advances in fluorescence microscopy technologies. Also in the case of microtubules, the adaptation of microscopes and the development of new molecular probes allows detection of structural anomalies useful for localizing damage.

In this context, we performed a study on alpha tubulin with high-resolution STORM microscopy on non-cancerous human mammary cells irradiated both with proton and X-ray photons. In breast cancer, the protocol involves radiotherapy after removal of the tumor mass, so studies on non-tumor tissue seem even more necessary. This study showed cMTOC



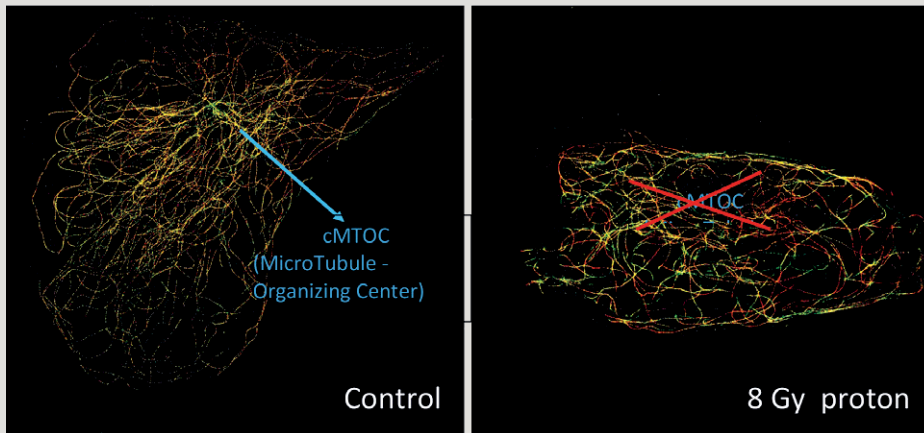


Fig. 14 Microtubule STORM image of a control (left image) and irradiated with 8 Gy proton cells (Hs 578Bst cell line). A-tubulin probed with mouse anti-human primary antibody and goat anti-mouse AlexaFluor 555 as secondary antibody. Microtubule-organizing center (cMTOC) tied to the nucleus in control cell is not detectable in the irradiated cell.

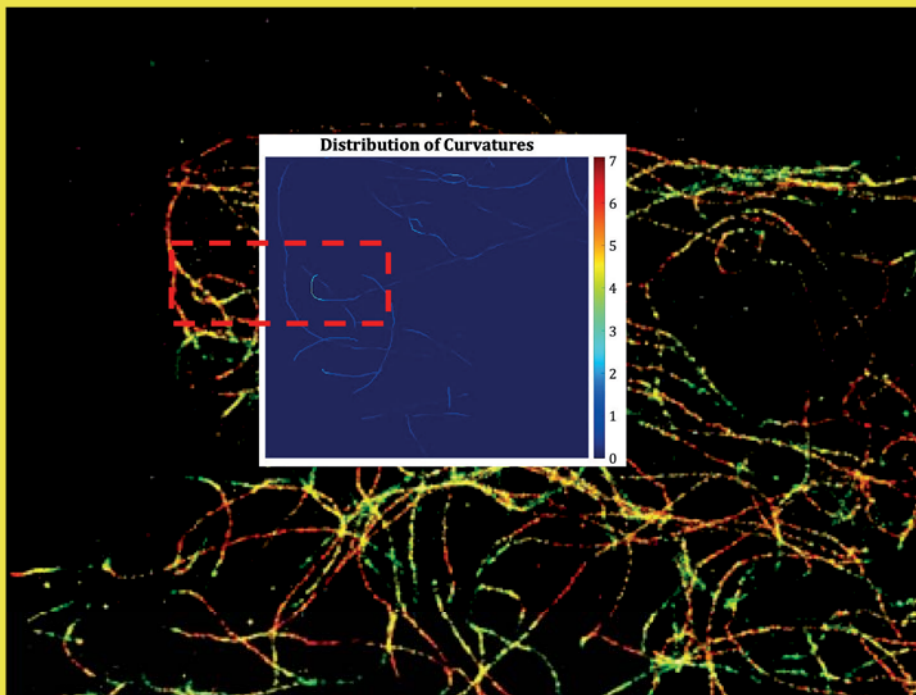


Fig. 15 In the inset, a microtubule of a Hs 578Bst cell irradiated with 8 Gy protons was reconstructed with the SIFNE software, highlighting a higher curvature using a color scale.

damage with reorganization of MTOCs (see fig. 14).

Furthermore we identify sites with significantly higher MT curvature in the MTs of irradiated samples with respect to control (see fig. 15) [39].

Acetylation hotspots are often found in areas of increased curvature and colocalize filament breaks; therefore, it would be a way to identify damage sites. This study indicates the MTs as promising biological targets to be studied in relation to radiation-induced damage identification.

As a last example we report a recent study of clonogenic assay applied on CHO-K1 cell (non-tumoral) irradiated with Ultra-High Dose Rate (FLASH) Carbon Ions [40].

Mechanisms underlying reduced toxicity of FLASH-RT are not yet fully understood [41–43]. It has been hypothesized that differences in the oxygen concentration play a crucial role in these phenomena, therefore a big effort is being made in this direction.

FLASH effect has generally been considered as an *in vivo* effect, and data on 2D cell cultures in particular data from clonogenic assays are conflicting and sometimes in disagreement with *in vivo* data. One of the critical aspects of *in vitro* FLASH studies is the control of oxygen concentration, which has to mimic the physiological situation. In the reported case, patent hypoxic chambers were used to control the oxygen concentration (0%, 0.5%, 4%, and 21% O₂) [40].

The author concluded that FLASH irradiation with the tested carbon beams induces a sparing effect compared with the irradiation at conventional dose rates. This effect is evident when the irradiated cells are kept at low oxygen concentrations but not in anoxia. This study demonstrates the importance of clonogenic assay, a method created in 1956 by Puck *et al.* [44] which is still a valid and essential tool.

4 Conclusions

Bridging *in vitro* research with its *in vivo* applications, especially at the clinical level, is always a daunting and challenging task. In most cases complexity of living organisms exhibits features that are impossible to be faithfully reproduced in laboratory experiments. Nonetheless advanced imaging techniques are now offering an opportunity to study and characterize at the molecular level the effects of radiation on the DNA, and other structures vital for the cell life. Microtubules play a central role in cell biology and turned out to be a possible endpoint to assess the effects of radiation. Super-resolved microscopy techniques can visualize and characterize the microtubule

network with astonishing accuracy allowing characterization that connects molecular integrity with geometrical and spatial characteristics. This is important as microtubules size have similar magnitude as DNA's and are therefore candidates to simulations of energy delivery using the same computational techniques. These results provide further insight in cell biology, for both healthy and tumoral cells, and offer the chance to better elucidate the fundamental mechanisms that rule cell proliferation and survival.

Acknowledgments

This work has been partially funded by the CSN5 Call FRIDA.

Bibliography

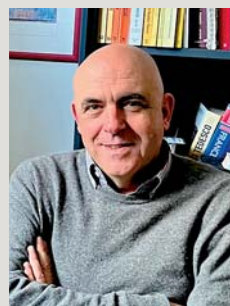
- [1] R. A. Chandra, F. K. Keane, F. E. M. Voncken, C. R. J. Thomas, "Contemporary radiotherapy: present and future", *Lancet*, 398 (2021) 171, doi: 10.1016/S0140-6736(21)00233-6.
- [2] M. Durante, J. Debus, J. S. Loeffler, "Physics and biomedical challenges of cancer therapy with accelerated heavy ions", *Nat. Rev. Phys.*, 3 (2021) 777, doi: 10.1038/s42254-021-00368-5.
- [3] M. Durante, R. Orecchia, J. S. Loeffler, "Charged-particle therapy in cancer: clinical uses and future perspectives," *Nat. Rev. Clin. Oncol.*, 14 (2017) 483, doi: 10.1038/nrclinonc.2017.30.
- [4] M.-C. Vozenin, J. Bourhis, M. Durante, "Towards clinical translation of FLASH radiotherapy", *Nat. Rev. Clin. Oncol.*, 19 (2022) 791, doi: 10.1038/s41571-022-00697-z.
- [5] N. A. P. Franken, H. M. Rodermond, J. Stap, J. Haveman, C. van Bree, "Clonogenic assay of cells in vitro", *Nat. Protoc.*, 1 (2006) 2315, doi: 10.1038/nprot.2006.339.
- [6] L. Bodgi, A. Canet, L. Pujo-Menjouet, A. Lesne, J.-M. Victor, N. Foray, "Mathematical models of radiation action on living cells: From the target theory to the modern approaches. A historical and critical review", *J. Theor. Biol.*, 394 (2016) 93, doi: 10.1016/j.jtbi.2016.01.018.
- [7] J. Z. Wang, Z. Huang, S. S. Lo, W. T. C. Yuh, N. a Mayr, "A generalized linear-quadratic model for radiosurgery, stereotactic body radiation therapy, and high-dose rate brachytherapy", *Science Translat. Med.*, 2 (2010) 39ra48, doi: 10.1126/scitranslmed.3000864.
- [8] D. E. Lea, "Action of Radiations on Living Cells" (Cambridge University Press, New York) 1947.
- [9] D. J. Brenner, E. J. Hall, "Fractionation and protraction for radiotherapy of prostate carcinoma", *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 43 (1999) 1095, doi: 10.1016/S0360-3016(98)00438-6.
- [10] S. J. McMahon, "The linear quadratic model: usage, interpretation and challenges", *Phys. Med. Biol.*, 64 (2018) 01TR01, doi: 10.1088/1361-6560/aaf26a.
- [11] A. Dasu, I. Toma-Dasu, "Prostate alpha/beta revisited – an analysis of clinical results from 14 168 patients", *Acta Oncol.*, 51 (2012) 963, doi: 10.3109/0284186X.2012.719635.
- [12] D. J. Brenner, E. J. Hall, "Fractionation and protraction for radiotherapy of prostate carcinoma", *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 43 (1999) 1095, doi: 10.1016/S0360-3016(98)00438-6.
- [13] C. M. van Leeuwen et al., "The alfa and beta of tumours: a review of parameters of the linear-quadratic model, derived from clinical radiotherapy studies", *Radiat. Oncol.*, 13 (2018) 96, doi: 10.1186/s13014-018-1040-z.
- [14] T. Friedrich, U. Scholz, T. Elsässer, M. Durante, M. Scholz, "Systematic analysis of RBE and related quantities using a database of cell survival experiments with ion beam irradiation", *J. Radiat. Res.*, 54 (2013) 494, doi: 10.1093/jrr/rrs114.
- [15] T. Friedrich, T. Pfuhl, M. Scholz, "Update of the particle irradiation data ensemble (PIDE) for cell survival", *J. Radiat. Res.*, 62 (2021) 645, doi: 10.1093/jrr/rrab034.
- [16] H. Wang, H. Jiang, M. Van De Gucht, M. De Ridder, "Hypoxic Radioresistance: Can ROS Be the Key to Overcome It?", *Cancers*, 11 (2019) 112, doi: 10.3390/cancers11010112.
- [17] I. Telarovic, R. H. Wenger, M. Pruschy, "Interfering with Tumor Hypoxia for Radiotherapy Optimization", *J. Exp. Clin. Cancer Res.*, 40 (2021) 197, doi: 10.1186/s13046-021-02000-x.
- [18] X. Xu et al., "Direct observation of damage clustering in irradiated DNA with atomic force microscopy", *Nucleic Acids Res.*, 48 (2020) e18, doi: 10.1093/nar/gkz1159.
- [19] S. Sudhir Ambekar, "DNA: Damage and Repair Mechanisms in Humans", *GJPPS*, 3 (2017) 555613, doi: 10.19080/GJPPS.2017.03.555613.
- [20] M. R. Lieber, "The Mechanism of Double-Strand DNA Break Repair by the Nonhomologous DNA End-Joining Pathway", *Annu. Rev. Biochem.*, 79 (2010) 181, doi: 10.1146/annurev.biochem.052308.093131.
- [21] Y. Lv et al., "FLASH radiotherapy: A promising new method for radiotherapy (Review)", *Oncol. Lett.*, 24 (2022) 419, doi: 10.3892/ol.2022.13539.
- [22] M. Belli, R. Cherubini, M. Dalla Vecchia, V. Dini, G. Moschini, C. Signoretti, G. Simone, M. A. Tabocchini, P. Tiveron "DNA DSB induction and rejoining in V79 cells irradiated with light ions: a constant field gel electrophoresis study", *Int. J. Radiat. Biol.*, 76 (2000) 1095, doi: 10.1080/09553000050111569.
- [23] D. Sakata et al., "Prediction of DNA rejoining kinetics and cell survival after proton irradiation for V79 cells using Geant4-DNA", *Physica Medica*, 105 (2023) 102508, doi: 10.1016/j.ejmp.2022.11.012.
- [24] O. A. Sedelnikova, I. Horikawa, D. B. Zimonjic, N. C. Popescu, W. M. Bonner, J. C. Barrett, "Senescing human cells and ageing mice accumulate DNA lesions with unrepairable double-strand breaks", *Nat. Cell. Biol.*, 6 (2004) 168, doi: 10.1038/ncb1095.
- [25] L. H. Thompson, C. L. Limoli, "Origin, Recognition, Signaling and Repair of DNA Double-Strand Breaks in Mammalian Cells", Austin (TX): Landes Bioscience, 2000-2013, [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK6555/>

- [26] M. Stope, "Phosphorylation of histone H2A.X as a DNA-associated biomarker (Review)", *World Acad. Sci. J.*, 3 (2021) 31, doi: 10.3892/wasj.2021.102.
- [27] T. Hohmann, J. Kessler, D. Vordermark, F. Dehghani, "Evaluation of machine learning models for automatic detection of DNA double strand breaks after irradiation using a γ H2AX foci assay", *PLoS ONE*, 15 (2020) e0229620, doi: 10.1371/journal.pone.0229620.
- [28] G. Gruel et al., "Cell to Cell Variability of Radiation-Induced Foci: Relation between Observed Damage and Energy Deposition", *PLoS ONE*, 11 (2016) e0145786, doi: 10.1371/journal.pone.0145786.
- [29] J. Schuemann et al., "A New Standard DNA Damage (SDD) Data Format", *Radiat. Res.*, 191 (2018) 76, doi: 10.1667/RR15209.1.
- [30] M. P. Carante, F. Ballarini, "Modelling cell death for cancer hadrontherapy", *AIMS Biophys.*, 4 (2017) 465, doi: 10.3934/biophys.2017.3.465.
- [31] S. M. Huber et al., "Ionizing radiation, ion transports, and radioresistance of cancer cells", *Front. Physiol.*, 4 (2013), doi: 10.3389/fphys.2013.00212.
- [32] E. Pariset, S. Malkani, E. Cekanaviciute, S. V. Costes, "Ionizing radiation-induced risks to the central nervous system and countermeasures in cellular and rodent models", *Int. J. Radiat. Biol.*, 97 (2021) S132, doi: 10.1080/09553002.2020.1820598.
- [33] M. Manghi, L. Bruni, S. Croci, "MDI: integrity index of cytoskeletal fibers observed by AFM", *Eur. Phys. J. Plus*, 131 (2016) 213, doi: 10.1140/epjp/i2016-16213-5.
- [34] J. Giustiniani et al., "Tubulin acetylation favors Hsp90 recruitment to microtubules and stimulates the signaling function of the Hsp90 clients Akt/PKB and p53", *Cell. Sign.*, 21 (2009) 529, doi: 10.1016/j.cellsig.2008.12.004.
- [35] C. Janke, G. Montagnac, "Causes and Consequences of Microtubule Acetylation", *Curr. Biol.*, 27 (2017) R1287, doi: 10.1016/j.cub.2017.10.044.
- [36] H. Paganetti, "Relative biological effectiveness (RBE) values for proton beam therapy. Variations as a function of biological endpoint, dose, and linear energy transfer", *Phys. Med. Biol.*, 59 (2014) R419, doi: 10.1088/0031-9155/59/22/R419.
- [37] W. Tinganelli, M. Durante, "Carbon Ion Radiobiology", *Cancers*, 12 (2020) 3022, doi: 10.3390/cancers12103022.
- [38] K. Szymonowicz et al., "Proton Irradiation Increases the Necessity for Homologous Recombination Repair Along with the Indispensability of Non-Homologous End Joining", *Cells*, 9 (2020) 889, doi: 10.3390/cells9040889.
- [39] L. Bruni, M. Manghi, E. Gioscio, V. Caorsi, F. M. Rizzi, S. Croci, "Ionizing Radiation Effects on Hs 578Bst Microtubules", *Front. Phys.*, 8 (2020) 579081, doi: 10.3389/fphy.2020.579081.
- [40] W. Tinganelli et al., "Ultra-High Dose Rate (FLASH) Carbon Ion Irradiation: Dosimetry and First Cell Experiments", *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 112 (2022) 1012, doi: 10.1016/j.ijrobp.2021.11.020.
- [41] J. D. Wilson, E. M. Hammond, G. S. Higgins, K. Petersson, "Ultra-High Dose Rate (FLASH) Radiotherapy: Silver Bullet or Fool's Gold?", *Front. Oncol.*, 9 (2020) 1563, doi: 10.3389/fonc.2019.01563.
- [42] V. Favaudon et al., "Ultrahigh dose-rate FLASH irradiation increases the differential response between normal and tumor tissue in mice", *Sci. Transl. Med.*, 6 (2014) 245ra93, doi: 10.1126/scitranslmed.3008973.
- [43] P. Montay-Gruel et al., "Irradiation in a flash: Unique sparing of memory in mice after whole brain irradiation with dose rates above 100 Gy/s", *Radiother. Oncol.*, 124 (2017) 365, doi: 10.1016/j.radonc.2017.05.003.
- [44] T. T. Puck, P. I. Marcus, "Action of X-Rays on mammalian cells", *J. Exp. Med.*, 103 (1956) 653, doi: 10.1084/jem.103.5.653.



Simonetta Croci

Simonetta Croci è professore di II fascia di fisica applicata presso il Dipartimento di Medicina e Chirurgia dell'Università di Parma. I suoi interessi di ricerca sono nel campo della radiobiologia e della fisica applicata ai sistemi biologici. Collabora attivamente sia nella gestione del Servizio di Fisica Sanitaria dell'Università degli Studi di Parma che nell'esecuzione delle campagne di misura. Partecipa al FRIDA (FLASH Radiotherapy with hIgh Dose-rate particle beAms) INFN Project. È stata membro del Consiglio di Presidenza della SIF dal 2008 al 2019, di cui è Socia Benemerita.



Massimo Manghi

Massimo Manghi è ricercatore di fisica applicata presso il Dipartimento di Medicina e Chirurgia dell'Università di Parma. I suoi campi di interesse spaziano dal trattamento algoritmico di biosegnali all'analisi di immagini acquisite con diverse tecniche di microscopia. È membro della Apache Software Foundation come project chair del progetto Apache/Tcl. Partecipa al FRIDA (FLASH Radiotherapy with hIgh Dose-rate particle beAms) INFN Project.

IAEA ACTIVITIES IN SUPPORT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF ACCELERATOR FACILITIES AND THEIR APPLICATIONS

SOTIRIOS CHARISOPOULOS, DANAS RIDIKAS

Physics Section, Division of Physical and Chemical Sciences, Department of Nuclear Sciences and Applications, International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre, Vienna, Austria

The present article reports on the IAEA Physics Section program to assist IAEA member states in strengthening their capacity to adopt and benefit from the use of accelerator-based technologies. The IAEA tools and framework used to support accelerator-based research and applications in multiple disciplines and the sustainable development of accelerator facilities are presented.

Particle accelerators are used not only in fundamental research to improve our understanding of different scientific fields and subjects but also in a plethora of socio-economic applications. Hereby, their unique analytical capabilities make them particularly suitable and partly irreplaceable tools for studying and solving problems of modern society. Human health, biophysics, climate change and environmental monitoring, water and air quality, advanced materials of high technological interest, forensics, cultural heritage, food quality and many other fields are included into the analytical portfolio of particle accelerators. Particle beams delivered from more than 20000 accelerators worldwide are used for industrial applications and high-tech services resulting in business revenues in the billion-dollar scale, which clearly demonstrates the decisive contribution of particle accelerators to the increase of competitiveness of economies worldwide and the welfare of modern society in general.

For all these reasons, accelerator-based research and applications are among the thematic areas, where the International Atomic Energy Agency (IAEA) [1] supports its member states in strengthening their capacity to adopt and benefit from the use of accelerator-based technologies. The relevant activities are implemented by the Physics Section (PS) and the Radioisotope Products and Radiation

Technology (RPRT) Section of the IAEA. Both sections belong to the Division of Physical and Chemical Sciences (NAPC) [2] of the Department of Nuclear Sciences and Applications (NA) [3]. The Physics Section also supports research and applications with neutron sources, implements projects with relevance to nuclear fusion research and technology development as well as operates the Nuclear Science and Instrumentation Laboratory (NSIL) that is located at the campus of the IAEA Laboratories at Seibersdorf, a small town 40 km outside Vienna.

To support its Members States in accelerator-based technologies and their usage, the IAEA employs a number of modalities and tools, listed, and briefly described below.

1 The IAEA tools to support accelerator-based research and applications

1. **Consultancy Meetings (CM):** Meetings in which up to ten experts are invited to provide specialized advice and recommendations on particular scientific or other aspects of relevance for the IAEA's subject matter programmes and activities. During the last five years, the Physics Section has organized 31 CMs, from which eight (8) were dedicated to management of accelerator facilities or to accelerator-

based research and applications. Ten (10) CMs were organized to recommend and prepare Technical Meetings or Coordinated Research Projects (both modalities described below) or to prepare other scientific events in support of accelerator-based research and applications. In addition, five CMs were held with the aim to prepare and/or finalize IAEA publications in the field of accelerator-based science.

2. **Technical Meetings (TM):** Technical events with 30-40 participants (sometimes even above 100 if virtual component is added), aiming at enhancing interaction among experts, share knowledge and expertise, establish scientific collaborations, and create topical networks. One of the most recent networks resulted from a TM is the one focusing on the Ion Beam Analysis of plasma-facing materials in controlled fusion devices. It comprises 11 research institutions from 8 European countries, Brazil and South Africa. This network is now implementing a CRP (see below). Since 2018, ten (10) TMs were organized dealing directly with accelerator-based research and applications or management of accelerator facilities. In addition, five more TMs were held focusing on associated nuclear instrumentation.
3. **Coordinated Research Projects (CRPs) [4]:** Networks of typically 10-15 research institutes from developed and developing countries that work in coordination for 4-5 years on research topics of common interest and acquire new scientific knowledge and skills. Periodic meetings are organized to report progress and plan/coordinate future joint activities. It is worth noting that there are 105 CRPs

currently implemented by the Department of Nuclear Sciences and Applications (NA). Their distribution in thematic areas is shown in [fig. 1](#).

The Physics Section is currently coordinating five CRPs focusing on accelerator applications involving 65 different research organizations and representing 40 countries. Since 2018, the Physics Section organized 12 periodic meetings, termed Research Coordination Meetings (RCMs), in support of the CRPs implemented during this period.

4. **Training Workshops, Courses, and dedicated Schools:** Events enabling participants to acquire specific knowledge – theoretical or practical or both – on a given subject of interest. Organized at IAEA Headquarters, IAEA laboratories, the International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy [5], or at partner laboratories in IAEA Member States. During the last five years and in spite of the Covid-19 pandemic, the Physics Section offered 17 training events related to accelerator-based science and applications, from which six (6) were jointly organized with the ICTP in Trieste, Italy.
5. **Publications of technical documents and technical reports:** Publications of reported results, shared good practices and lessons learned; in most cases produced by CRPs or through Technical Meetings. The most widely known publications hereby are the IAEA Technical Documents (IAEA TECDOCs). Typical examples of publications related to accelerator-based research and applications are cited in [6] and [7], respectively.
6. **National, regional, interregional Technical Cooperation (TC) projects [8]:** National, regional and interregional

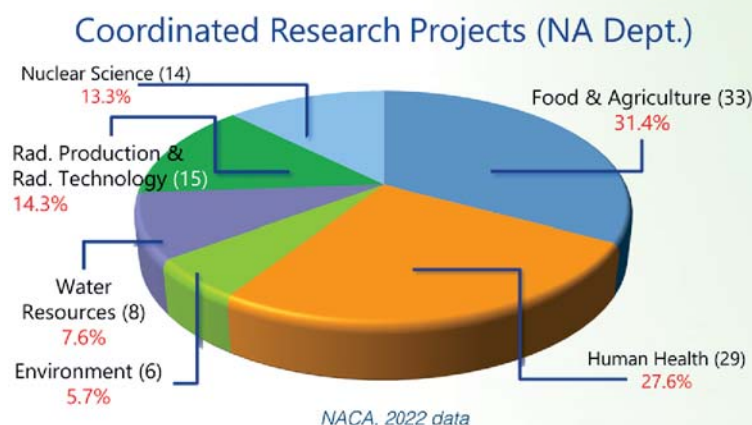


Fig. 1 Distribution in thematic areas of the CRPs implemented in 2022 by the Department of Nuclear Sciences and Applications of the IAEA.

projects supported by the Technical Cooperation Programme (TCP) to build capacity directly in the IAEA Member States via Expert Missions, training of personnel, purchase of equipment, assistance in establishing new facilities, etc. Depending on the year, the IAEA Physics Section supports between 10 to 15 TC projects with relevance to accelerator usage and applications.

In addition to aforementioned tools and modalities, there are many other IAEA activities aiming at

- facilitating access to accelerator facilities for scientists from developing countries without such capabilities, like Bosnia and Herzegovina, Malaysia, and Senegal;
- offering e-learning courses for students, laboratory staff and users;
- assisting Member States in carrying out feasibility and infrastructure assessment studies and establishing new accelerator facilities;
- providing Member States with technical support in preparing technical specifications and procurement as well as in installing, operating, maintaining, and upgrading their accelerator facilities and associated instrumentation; and
- promoting the practical use of accelerator-based techniques. For this purpose, the IAEA collaborates with designated Member State institutions hosting accelerator facilities under the so-called IAEA Collaborating Centre scheme [9], which helps reach important targets of the United Nations' Sustainable Development Goals (UN SDGs) [10].

2 Selected examples

2.1 Materials Irradiation and Characterization relevant to Fusion Technology using IBA techniques

The development of materials for energy applications covers a wide spectrum of research activities focusing on the synthesis, bulk characterization, surface composition and theoretical understanding of functional materials used in energy producing and/or energy storing systems. The analytical methods applied to study the properties of such materials are diverse, depending on the technology applied to produce and store energy.

Fusion energy is one of the promising energy sources for the future. As illustrated in [fig. 2](#), the physical conditions dominating in fusion are extreme and most demanding for the materials to be employed in the operation of fusion energy systems. Given the need for coordination of experimental efforts aiming at developing proper materials as well as investigating many physical processes altering their surface and composition under the extreme physical conditions expected in future fusion energy systems, a CRP "Development and Application of Ion Beam Techniques for Materials Irradiation and Characterization relevant to Fusion Technology" was launched in 2021 by the Physics Section with the intended duration of four years. In this CRP, 11 research institutions from 10 Member States are currently participating.

This CRP aims at coordinating research efforts in understanding aspects of ion-induced radiation damage in materials relevant to fusion energy by using IBA techniques.

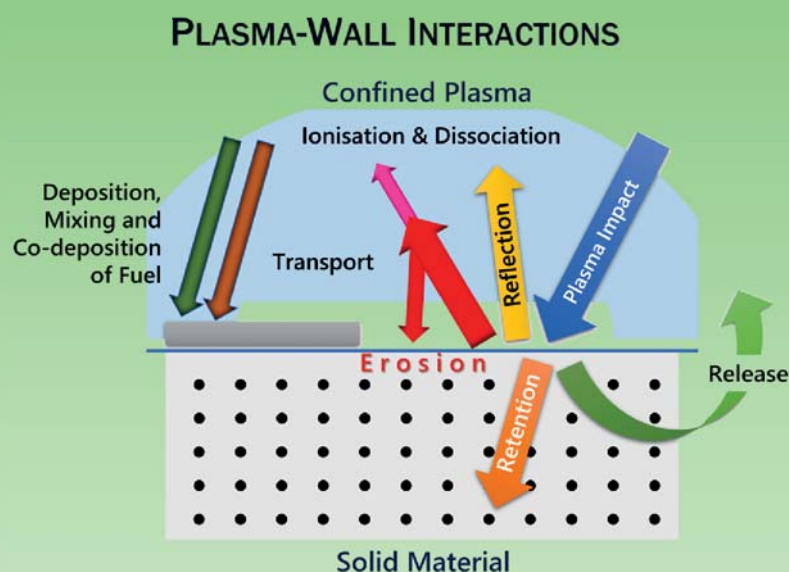


Fig. 2 Physical processes altering the surface and composition of materials during plasma-wall interactions in a fusion reactor.

For this purpose, three major activities are under way, *i.e.*, a) measurements and/or validation of new or existing reaction cross sections of nuclear reactions engaged in the aforementioned physical processes as well as measurements of stopping powers, b) round robin exercises to evaluate the performance of IBA laboratories world-wide for experiments of ion-induced radiation damage in materials relevant to fusion energy and c) development of good practices and procedures necessary for the standardization of IBA techniques for materials irradiation and characterization with relevance to fusion technology.

2.2 Advances in Laser-Driven Neutron and X-ray Sources and their applications

In recent years, significant progress has been made in generating intense ion beams from relativistic laser plasmas (RLP). These advances in high-power laser technology have led to the development of lasers producing extremely short light pulses in the femtosecond range with very high intensities exceeding 10^{21} W/cm². By guiding these pulses onto a solid foil, intense sources of photons, ions and neutrons can be generated as shown in [fig. 3](#), which can subsequently be used for a wide spectrum of applications. To date, laser-based techniques demonstrate potential to support accelerating electric fields at least four orders of

magnitude larger than those of conventional accelerators and the goal of the international scientific community of producing compact and portable particle accelerators appears to be feasible within the next decade.

Laser-driven ion beams are born in sub-picosecond timescales and micron spatial scales. Thus, they can deliver unprecedented power densities. In the case of neutron sources, fluences exceeding 10^{10} neutrons/sr in approximately ns-long pulses can be achieved. Under these conditions, the prospects of significantly improved performance of Laser-Driven Neutron Sources (LDNS) are excellent.

These developments have prompted many discussions on the compelling applications for such intense neutron beams that include, among many others, non-destructive testing methods in aerospace; radiographic imaging of large objects; *in operando* diagnostics of lithium-ion batteries; radiation processing to fabricate smart, functional materials; and active interrogation of sensitive nuclear materials, including nuclear waste characterization, as well as volumetric dynamic thermometry for macroscopic samples in shock physics and warm-dense-matter research.

Due to these features, Laser-Driven Neutron and X-ray sources may have a great potential for contributing to the socio-economic

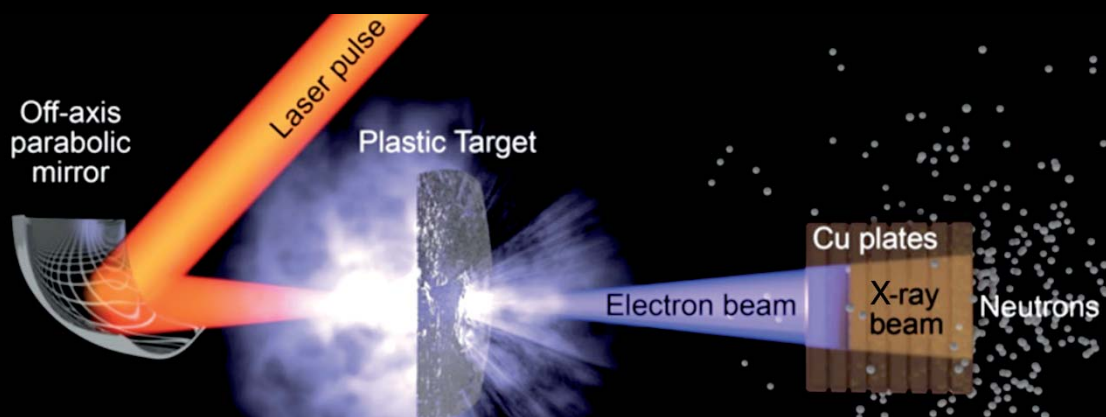


Fig. 3 Schematic representation of electrons and secondary neutrons being produced using laser-based accelerating technologies. (Courtesy: Ishay Pomerantz, Tel Aviv University, Israel.)

development in many countries. To assess this potential and propagate further the advantages in using these technologies in the interest of IAEA's Member States a virtual Technical Meeting on Advances in Laser-Driven Neutron and X-ray Sources and their applications was organized in February 2021. During this meeting, representatives of worldwide leading laser facilities and research institutions working in the new field of laser-driven neutron and X-ray sources were gathered. The meeting discussed advances in the emerging technology of high-power short-pulse lasers and their use to create intense bursts of neutrons and X-rays and confirmed the large potential of laser-driven neutrons for research and applications.

Among the TM objectives, was the collection and evaluation of scientific information for the preparation of an IAEA TECDOC on the topic addressed by the meeting. This task was successfully accomplished, and a group of experts is currently preparing this publication. Moreover, the TM participants recommended IAEA to consider organizing a joint IAEA-ICTP School in the field of Laser-Driven Neutron Production which could address the information exchange and capacity building needs, especially among developing countries, and would lay the foundations for a new generation of scientists in this field. Such a joint School is now in preparation.

2.3 Facilitating access to accelerator facilities

Although many IAEA developing Member States recognize accelerator technologies as one of the key possibilities to serve research as well as socioeconomic development, many of them face difficulties to allocate the funds required for

the installation and effective operation of these facilities. As a result, researchers from these Member States often do not have any support to employ accelerator-based techniques, or their access to accelerator facilities is very limited.

To cover this identified gap, a CRP entitled "Facilitating Experiments with Ion Beam Accelerators" was launched in mid-2019. For this purpose, a call of interest was circulated to IBA facilities from all IAEA Member States willing to provide beam-time access to researchers interested in carrying out IBA experiments. Based on the responses received by laboratories from different IAEA Member States, their access procedures as well as their vicinity to developing countries, 11 IBA accelerator facilities were finally selected. They are listed in [11] together with the types of accelerators and the experimental setups they offer to users. Their geographical distribution is shown in [fig. 4](#).

Researchers interested in taking advantage of the access opportunities offered by this CRP can apply for financial support to the IAEA to perform experiments in the IBA facilities of their preference. Such a support can be used for travelling, accommodation and daily allowances during experiment and is granted on the basis of scientific proposals submitted to the IAEA which are then evaluated by the scientific secretaries of the CRP, in consultation with the host accelerator facilities for feasibility. Up to date, 15 research proposals have been received and their comparatively small number is mostly due to travel ban measures as well as working restrictions imposed by the Covid-19 pandemic. The CRP, however, will be running for the next two years and will continue facilitating IBA-time access to researchers, mainly from developing countries.



Fig. 4 World map with the location of the 11 accelerator facilities (blue circles) providing beam time in the framework of the IAEA CRP "Facilitating Experiments with Ion Beam Accelerators".

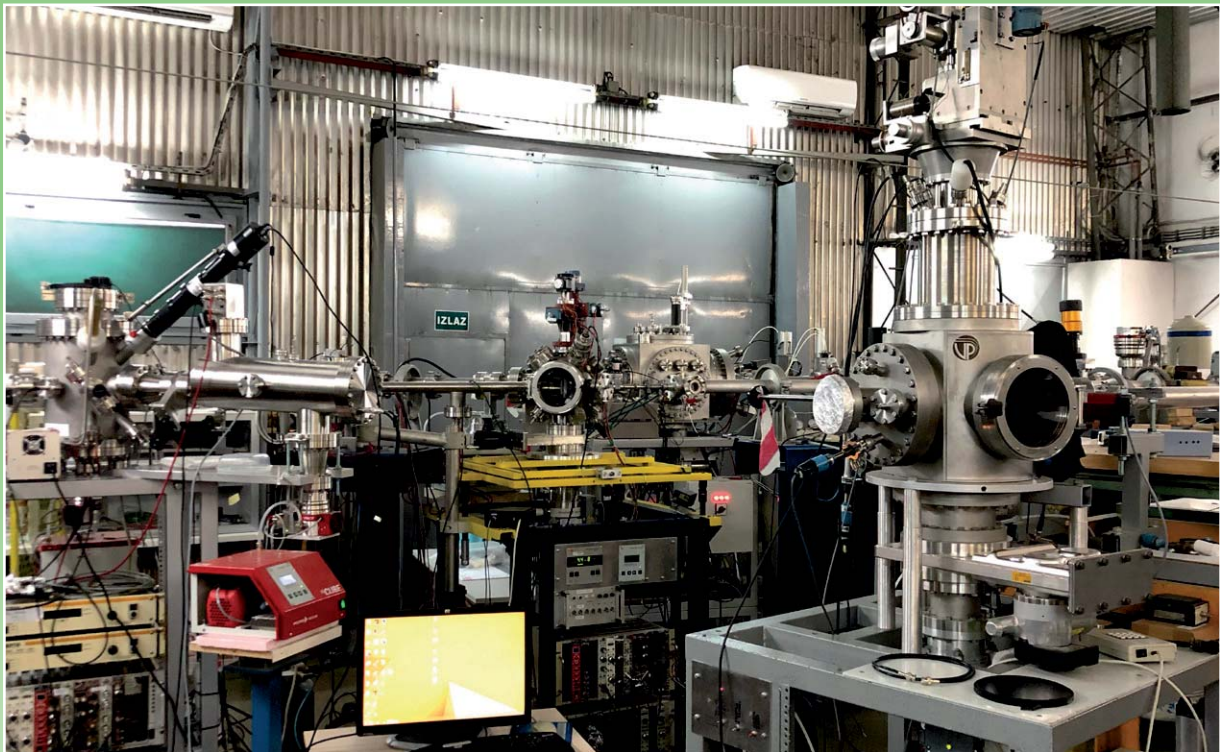


Fig. 5 The Dual beam Irradiation beamline for Fusion research (DIFu) installed at RBI, Zagreb, Croatia.

Independently of the aforementioned CRP “Facilitating Experiments with Ion Beam Accelerators”, the IAEA Physics Section utilizes two cooperative agreements with the Ruder Bošković Institute (RBI), Zagreb, Croatia, and the Elettra Synchrotron located in Trieste, Italy. These were signed with the aim to support access to beam time to scientists from all IAEA Member States.

In the former case, RBI offers four weeks of beam time every year to scientists to perform experiments or for hands-on training courses jointly organized by the IAEA Physics Section at the RBI. External users from IAEA member states interested in conducting experiments have to submit a research proposal which is evaluated jointly by the IAEA and an in-house user selection panel. The rejection rate is approximately 50%. The Laboratory of Ion-Beam Interactions (LIBI) of RBI offers its experimental end-stations for conducting IBA experiments for basic and interdisciplinary research as well as applications in biomedicine, environment, and cultural heritage. In addition to the standard IBA setups, LIBI hosts certain experimental end-stations with unique capabilities such as the Dual beam Irradiation beamline for Fusion-relevant research activities (DIFu), which is shown in [fig. 5](#). This beamline and ion source was partly financed by the IAEA.

Synchrotron light users from IAEA Member States can have access to Elettra’s X-ray fluorescence (XRF) beamline, which hosts an ultra-high vacuum chamber that is funded and operated in partnership with the IAEA (see [fig. 6](#)). According to the cooperation agreement, the IAEA provides every year funds to Elettra with the aim to cover the travel costs of users from IAEA Member States who are eligible to receive technical assistance under the Technical Cooperation Programme (see sect. 2.5 below). Access is granted exclusively on the basis of the scientific merit and tentative users have to submit research proposals, which are evaluated twice a year by the external Proposal Review Panels (PRPs) appointed by Elettra. Hereby, the rejection rate ranges between 50 and 75% depending on the requested setup and backlog. External users who have been selected by the PRP, may then proceed with XRF and XAFS experiments. Almost 30% of these users were from developing countries.

In 2021, 19 research groups from 12 Member States used the joint IAEA-Elettra X-Ray Fluorescence experimental end station, while 15 research groups from 7 Member States accessed the IAEA co-funded ion beam facility infrastructure at RBI. The areas of research varied from materials research, detector testing, life sciences, environmental studies to electrochemistry and cultural heritage.

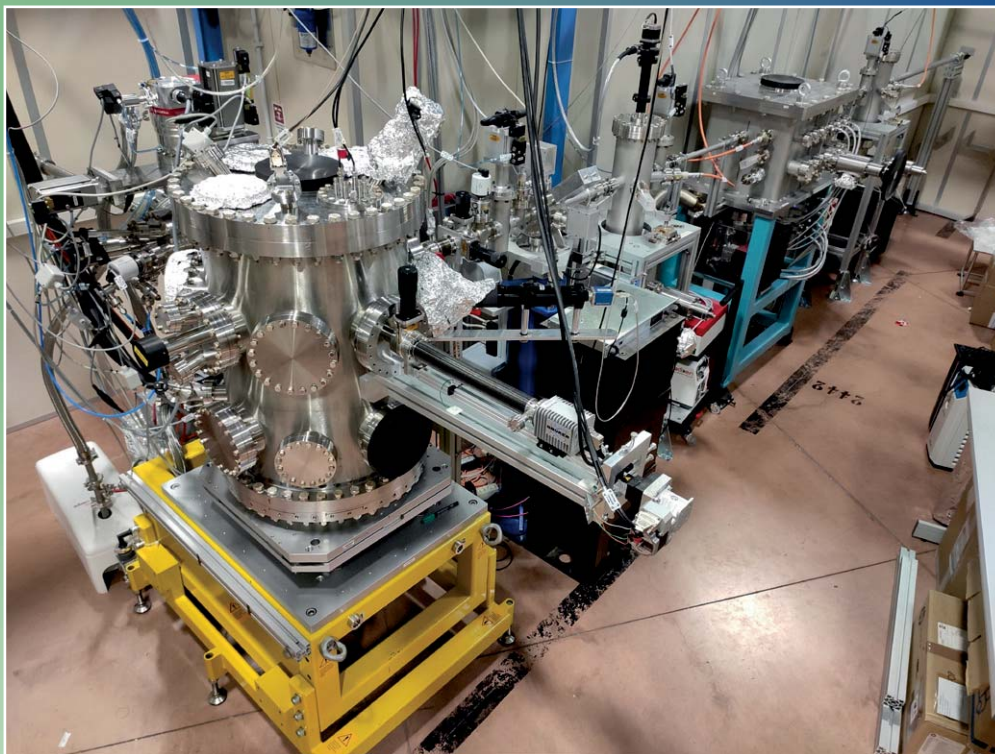


Fig. 6 The X-ray fluorescence beamline of Elettra with the ultra-high vacuum chamber funded and operated in partnership with the IAEA. A copy of this chamber is available for training purposes at the NSIL/Physics operating at the Campus of the IAEA Seibersdorf Laboratories. (Courtesy: Ilaria Carlomagno, Elettra Sincrotrone, Trieste, Italy.)

2.4 Training activities on accelerator-based applications and associated technologies

At its Nuclear Science and Instrumentation Laboratory (NSIL) in Seibersdorf, the IAEA Physics Section offers every year and on regular basis a series of hands-on training courses focusing mainly on analytical techniques based on X-ray and gamma-ray spectroscopy as well as on nuclear instrumentation and nuclear electronics, and more recently on neutrons using compact neutron generators. On top of that, the Section organizes jointly with the ICTP [5], as well as with LIBI [12] of the RBI, training activities (schools, workshops, webinars, etc.) related to accelerator-based research and applications. Some typical examples of these activities are the Joint ICTP-IAEA Advanced School on Ion Beam Driven Materials Engineering: Accelerators for a New Technology Era [13], the Joint ICTP-IAEA Advanced Workshop on Enhancing Accelerator-Based Analytical Techniques for Forensic Science [14], and the Joint ICTP-IAEA Workshop on "Electrostatic Accelerator Technologies, Basic Instruments and Analytical Techniques" [15].

During the latter Joint ICTP-IAEA Workshop, which was a two-week long event, 16 young scientists from 12 countries had the opportunity to complement their training with two scientific visits (see [fig. 7](#)). The first one was at the premises of the Jožef Stefan Institute (JSI) in Ljubljana, Slovenia, and the second one at the Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL), Legnaro, Italy. During the first visit, the workshop participants received a guided tour of the 250 kW TRIGA Mark II research reactor and the 2 MV Tandatron accelerator, where they also participated in demonstration IBA experiments. The visit at LNL was a first of its kind for all participants, as they had the opportunity to visit a number of accelerators hosted by LNL, *i.e.*, the ALPI linear accelerator, the 14.5 MV XTU Tandem, the 70 MeV SPES Cyclotron and the two single-stage Van de Graaff accelerators, *i.e.*, the 7 MV CN and the 2 MV AN2000 machines. These visits provided all participants with a broad view of the different types of accelerators, their operation principles and use for research and numerous applications.



Fig. 7 Participants of the Joint ICTP-IAEA Workshop (2019) on “Electrostatic Accelerator Technologies, Basic Instruments and Analytical Techniques”: a) Using the ICTP’s computer lab for homework, b) and c) visiting the 15 MV Tandem accelerator and the 70 MeV Cyclotron, respectively, at LNL, Legnaro, Italy, and d) participating in IBA demonstration experiments at JSI, Ljubljana, Slovenia.

Training activities focusing on operation and maintenance of electrostatic accelerators are organized also on a regular basis. The most recent events hereby are the Training Workshop on “Hands-on Operation and Maintenance of Electrostatic Accelerators”, held in December 2019 at the RBI, Zagreb, Croatia, and the Training Workshop entitled “Advances in Ion Beam Techniques and their Applications”, held also at RBI in March 2021 as well as in November 2022.

The former training workshop was attended by 10 young scientists from developing countries. Together with basic introductory seminars, it provided participant hands-on training on accelerator control units and associated control software, voltage measurements and voltage stabilization devices, dew point measurements, operation

of beam-focusing elements accompanied with evaluation of magnetic hysteresis, and calibration of terminal voltage. The workshop offered also training in operating and maintaining vacuum systems, *i.e.*, setting up pumps, vacuum measurements, leak detection, etc. A very important component of the workshop was the training on ion sources. This included beam extraction, beam current measurements, changing source parameters, element selection, and source optimization as well as changing the operation of a Duoplasmatron ion source from negative-ion extraction to positive one. The workshop also addressed basic theory and hands-on training on beam optics, including beam focusing and steering, quadrupole magnet alignment, beam brightness, and size measurements. This training workshop is offered every two

years. Due to travel restrictions associated with the Covid-19 pandemic, the next one of this series will be held in December 2022 at the Tandem & AMS (TAMS) laboratory of iThemba LABS [16], in Gauteng near Johannesburg, South Africa. The selection of a South African laboratory for this training aims primarily at facilitating the participation of young scientists from the African continent.

The other training workshop on Ion Beam Techniques and their Applications that was held at RBL in March 2021 was attended by 19 male and 17 female young researchers from 16 IAEA Member States. The workshop was initially planned to be held in November 2020; however, due to the Covid-19 pandemic, the event was converted from in-person to virtual and shifted to March 2021. Under these conditions, a new workshop concept was elaborated and applied to cover a) the well-established Ion Beam Analysis techniques: Proton Induced X-ray and Gamma-ray Emission (PIXE, PIGE), Rutherford Backscattering (RBS), Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA), Nuclear Reaction Analysis (NRA); b) Nuclear Microbeam Applications; and c) additional ion-beam based applications, such as Ion-Beam Induced Charge (IBIC). These topics were covered in five working days, each day grouped into four major sessions. The first session provided trainees with an introductory seminar (60 to 90 min, depending on the topic), followed by a 20-to-25-minute demonstration video of the previously presented techniques (second session). After a break, the third session covered a demonstration experiment, during which the data acquisition system was interfaced with the screens of the remotely participating attendees. In this way, experimental spectra were accumulated, which served as training data for analysis by the trainees as homework in the subsequent last (fourth) session. The results of the analysis by the trainees were presented at the end of the sessions. The videos were prepared by a professional company with expertise in educational multimedia in collaboration with RBL scientists and the IAEA, and they can be found in [17].

At the end of this workshop, trainees were requested to give feedback by filling out a dedicated questionnaire. The analysis of these

questionnaires demonstrated that: a) 75% of the participants never had a previous opportunity to attend a training on IBA techniques, though many of them were about to start conducting related research; b) only 10% of the attendees were aware of a training workshop on IBA offered in their country; and c) 87% of the participants evaluated the level of the demonstration experiments and the assigned homework either very good or excellent. Given this demonstrated need of training, especially among developing countries, as well as the positive evaluation of this training by the participants, it was decided to repeat this workshop on a biannual basis. As a result, a similar workshop was held in November 2022 that was attended by 15 trainees (8 women researchers) from nine Member States. The workshop covered most of the well-established IBA techniques.

In addition to the aforementioned training events, e-learning courses have been developed and are also offered through the IAEA's Learning Management System. For example, a course entitled *Introduction to electrostatic accelerators: from basic principles to operation and maintenance* [18] is offered with the objective to provide introductory theoretical knowledge as well as practical information for the effective and safe operation and maintenance of accelerators, ion sources, associated equipment, and operational procedures.

2.5 Technical support to accelerator facilities through Technical Cooperation projects

Facilitating transfer of knowledge in a sustainable manner to Member States and assisting them in planning and using nuclear science and technology for peaceful purposes are key components of the IAEA's mission. The applied approach hereby comprises three major stages. The first focuses on creating knowledge and expertise through R&D at the IAEA laboratories and the IAEA Collaborating Centres, as well as through R&D activities jointly conducted by institutions participating in relevant CRPs. In the subsequent second phase, the methods and technology developed in the first one are validated through dedicated CRPs or some

specific pilot projects. Both stages are funded through the IAEA's regular budget, in some cases with additional extrabudgetary funds. Generally, the knowledge gained in the first two stages is then transferred to Member States through properly designed educational and training courses, that are offered to trainees either through in-person participation or virtually, also through e-learning courses, or through the IAEA's Technical Cooperation Programme [8] in the form of national, regional, or interregional Technical Cooperation (TC) projects.

The IAEA's TC Programme [8] is in fact the Agency's primary mechanism for transferring nuclear knowledge and technology to Member States, helping them to address key development priorities in areas with socioeconomic impact as illustrated in **fig. 8**. Capacity building, networking, knowledge sharing, and partnership building are the key components of TC projects, and the associated activities are implemented through TC funded fellowships, scientific visits, expert missions to institutions, specialized training courses, and the procurement of materials and equipment

through the technical assistance of IAEA scientific personnel. In this context, the Physics Section provides technical support to more than 50 national, regional, or interregional TC projects being implemented in more than 50 Member States. About one-fifth of these projects focus on accelerator operation and maintenance, sustainable management, personnel training, and implementation and integration of accelerator-based techniques in the Member State's scientific portfolio. To date, the Physics Section has technically supported accelerator-related national TC projects in Algeria, Egypt, Ghana, Nigeria, South Africa, Bangladesh, Croatia, Jordan, Lebanon, Mexico, Slovakia, Syria, and Thailand.

An example of TC support to accelerator-based science is SESAME, the Synchrotron light for Experimental Science and Applications in the Middle East, which is located in Al Balqa, approximately 30 kilometers from Amman, Jordan's capital city, and was inaugurated on May 16, 2017. Through a number of consecutive Interregional TC Projects launched in 2010, the IAEA has provided extensive support to train staff at SESAME to safely

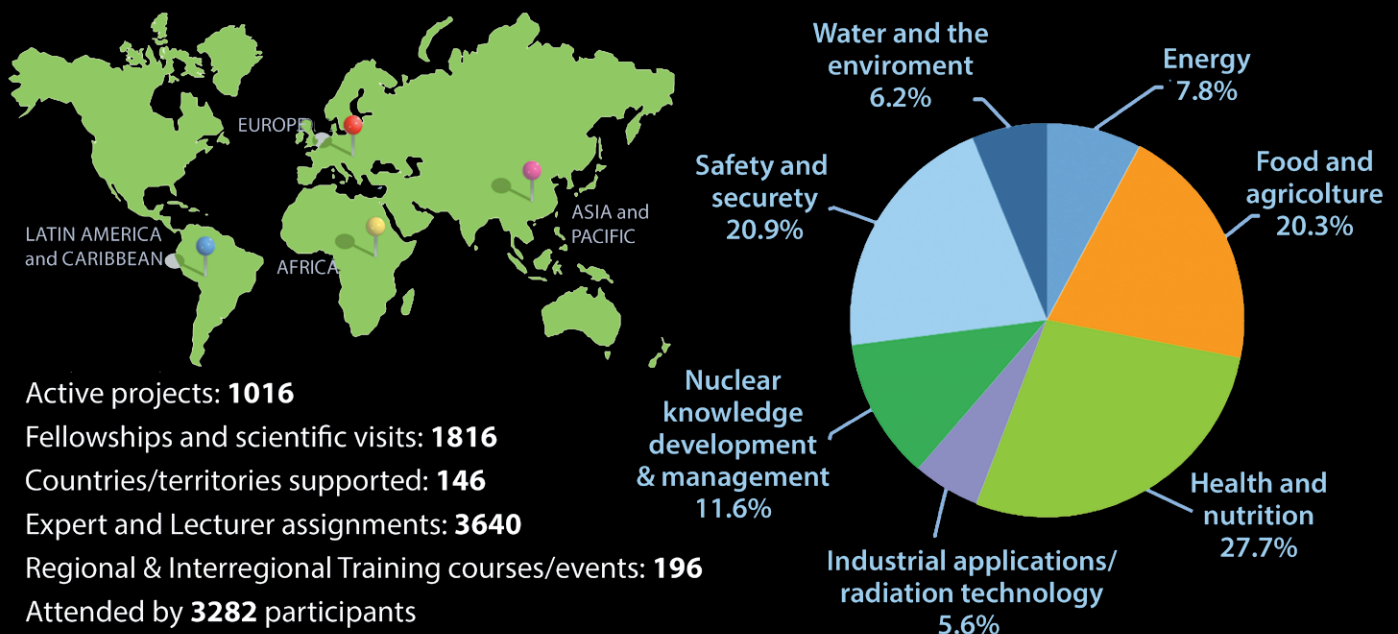


Fig. 8 The IAEA TC programme activities implemented in 2018. During this year, 1016 TC projects were funded to support activities in 146 countries/territories. The pie chart indicates the thematic areas and their portion in TC support.

commission and run the facility. This support included instruments, training of 66 technical and scientific fellows in beamline technologies, and over 30 expert missions to SESAME to help build capacity in the installation and testing of equipment. IAEA also facilitated networking of SESAME staff with experts from other synchrotron facilities in Europe, the United States, and Japan.

SEEIIST, the South-East European International Institute for Sustainable Technologies [19], is another project with a high regional impact, as it aims at establishing a centre for Cancer Therapy and Biomedical Research with Protons and Heavy Ions in Southeastern Europe. SEEIIST is currently receiving technical assistance by the Physics Section through the IAEA's regional TC project RER6039 that focuses on building capacity through training of scientific fellows, expert missions, and the organization of thematic workshops.

In collaboration with the TC Department, the Physics Section facilitates hands-on training of scientific and technical personnel in accelerator operation and maintenance, assists in refurbishment and modernization of beam lines and associated instrumentation, assists in feasibility and design studies and the preparation of business and strategy plans, provides technical support in specifications, procurement, installation, repairs, and upgrades of experimental devices. The accelerator facility of the Lebanese Atomic Energy Commission (LAEC) in Beirut, Lebanon, is a typical example: The Physics Section provided technical assistance in procurement of their 1.7 MV Pelletron tandem, start-up the laboratory, development of a new beamline for a nuclear microprobe, implementation of further upgrades of the accelerator, and installation of experimental setups as well as training of staff in accelerator technology and ion beam analysis.

The Accelerator Laboratory of the Centre for Nuclear Research Algiers (CRNA) in Algeria, hosting a 3.75 MV KN Van de Graaff also has benefitted from support from the Physics Section, implemented through TCP. Specifically, a status assessment mission was conducted within the framework of a national TC project aiming at increasing the national analytical capacities through upgrading of nuclear analysis laboratories

2.6 Support to international conferences, workshops, and schools

The IAEA supports international schools, workshops, or conferences through its framework as "organized in cooperation with the IAEA". Such events often receive some financial support in the form of grants for scientists from lower-income Member States to enable their participation in the event. In the last five years, the Physics Section has supported the following events in the field of accelerator-based science:

- The International Workshop on Correlations in Partonic and Hadronic Interactions held in September 2018, in Yerevan, Armenia.
- The 27th International Nuclear Physics Conference (INPC 2019) held in Glasgow, UK, from 29 July to 2 August 2019.
- The 13th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology (ECAART13) that took place in May 2019 in Split, Croatia.
- The 2019 edition of the Euroschool on Exotic Beams, held in August 2019 in Aarhus, Denmark.
- The first and the second edition in the African Nuclear Physics Conference (ANPC) series, held, respectively, in July 2019 at the Kruger National Park in South Africa (ANPC 2019) and virtually in September 2021.
- The Nuclear Photonics 2020 international conference, planned initially to be organized in 2020 in Kurashiki, Japan, but due to Covid-19, took finally place in June 2021.
- The 14th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology (ECAART14), held in July 2022 in Sibiu, Romania.
- The 22nd International Conference on Ion Beam Modification of Materials (IBMM-2022), held in July 2022 in Lisbon, Portugal.

It is worth noting that support may also be granted to events with strategic importance for regional or interregional projects, for example, the Forum on New International Research Facilities in South-East Europe that was organized by the SEEIIST proposers in January 2018 at ICTP. This meeting was attended by 115 delegates from 21 countries to explore a new world-class research infrastructure for South-East Europe.

2.7 IAEA Collaboration Centres in accelerator-based science and applications

Selected programmatic activities of the IAEA are implemented also in collaboration with an IAEA Member State institutions/organizations which are designated as *IAEA Collaborating Centres* (CCs) [9]. The designation process culminates with the signing of an Agreement between the IAEA and the CC organization. This is a legally binding document defining the cooperative undertakings of the parties, duration of designation, objectives, activities, and expected results and outcomes stated in a jointly agreed Work Plan, which addresses R&D work, educational and training activities and, in many cases, cost-free services to the IAEA and its Member States. There are currently over 60 IAEA Collaborating Centres worldwide. In the field of accelerator-based research and applications, there exist eight CCs across the globe as indicated in [fig. 9](#).

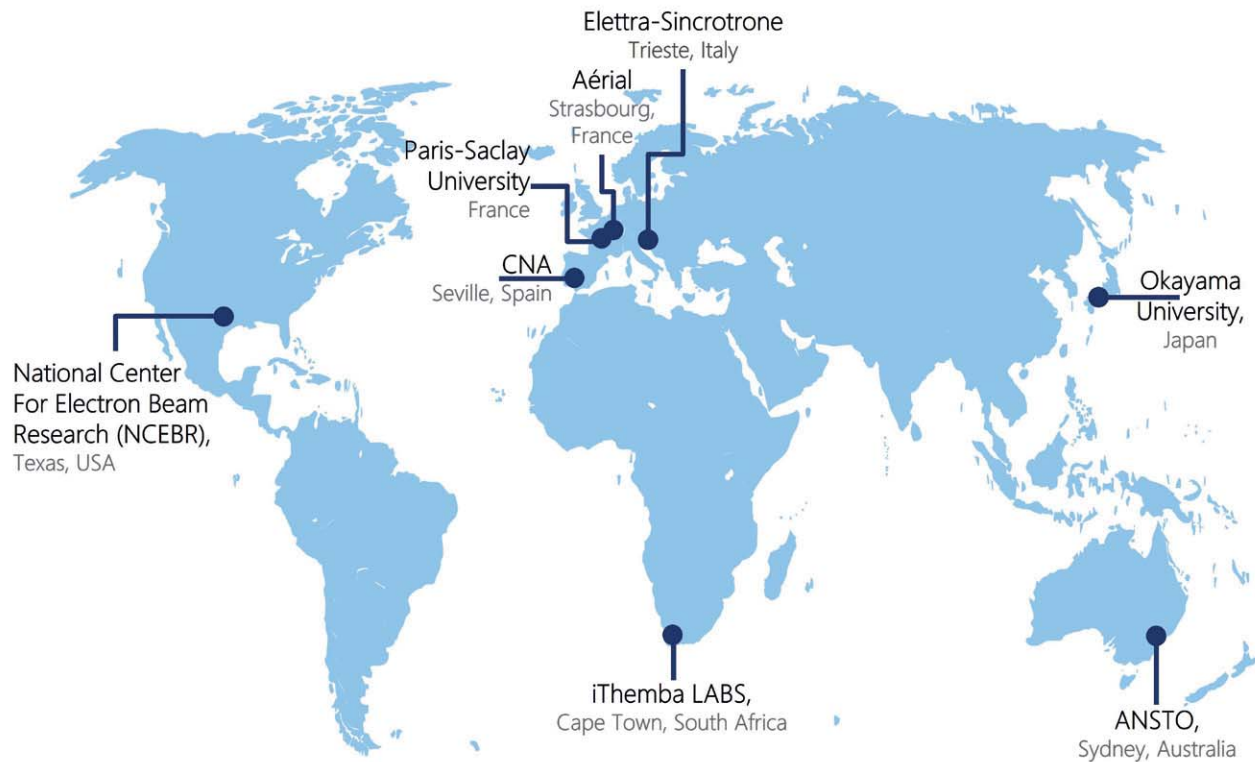


Fig. 9 Geographical distribution of IAEA Collaborating Centres implementing activities with direct involvement of particle accelerators.

The fields of collaboration with the IAEA and these corresponding Collaboration Centres are:

- Multi-analytical techniques for materials research, environmental studies, and industrial applications; Australian Nuclear Science & Technology Organisation (ANSTO), Australia.
- Boron Neutron Capture Therapy; Okayama University, Japan.
- Accelerator-Based Scientific Research and Applications; iThemba Laboratory for Accelerator Based Sciences (iThemba LABS), South Africa.
- Accelerator-based analytical techniques for the study of radionuclides in marine samples; Centro Nacional de Aceleradores (CNA), Spain.
- Multidisciplinary applications of electron beam and X-ray technologies and related dosimetry; Aérial, France.
- Advanced Light Sources: Hardware and Development of Multi-Disciplinary Methodologies; Elettra-Sincrotrone, Italy.
- Atoms for Heritage; Paris-Saclay University, France.
- Electron beam technology for food, health, and environmental applications; National

Center for Electron Beam Research (NCEBR), USA.

2.8 The Accelerator Knowledge Portal

The Physics Section has developed and maintains the Accelerator Knowledge Portal (AKP) [20], which among other capabilities also hosts interactive maps (data bases) of various types of accelerators operating worldwide. The maps run under the public version of the tableau® data visualization software. As shown in [fig. 10](#), these maps currently contain data on 324 electrostatic accelerators, 146 accelerator-based neutron sources, 60 synchrotron light sources, 33 BNCT facilities and 14 X-ray Free Electron Laser Sources.

The maps are continuously updated. It is planned to also accommodate proton/hadron therapy centres as well as Radioactive Ion Beam facilities in the future. The AKP also includes case studies with neutron and Ion Beam techniques and provides additional interactive maps of medical cyclotrons, irradiator facilities, and XRF laboratories. In 2021, the AKP was visited by more than 9000 scientists, users, and operators of accelerator facilities.

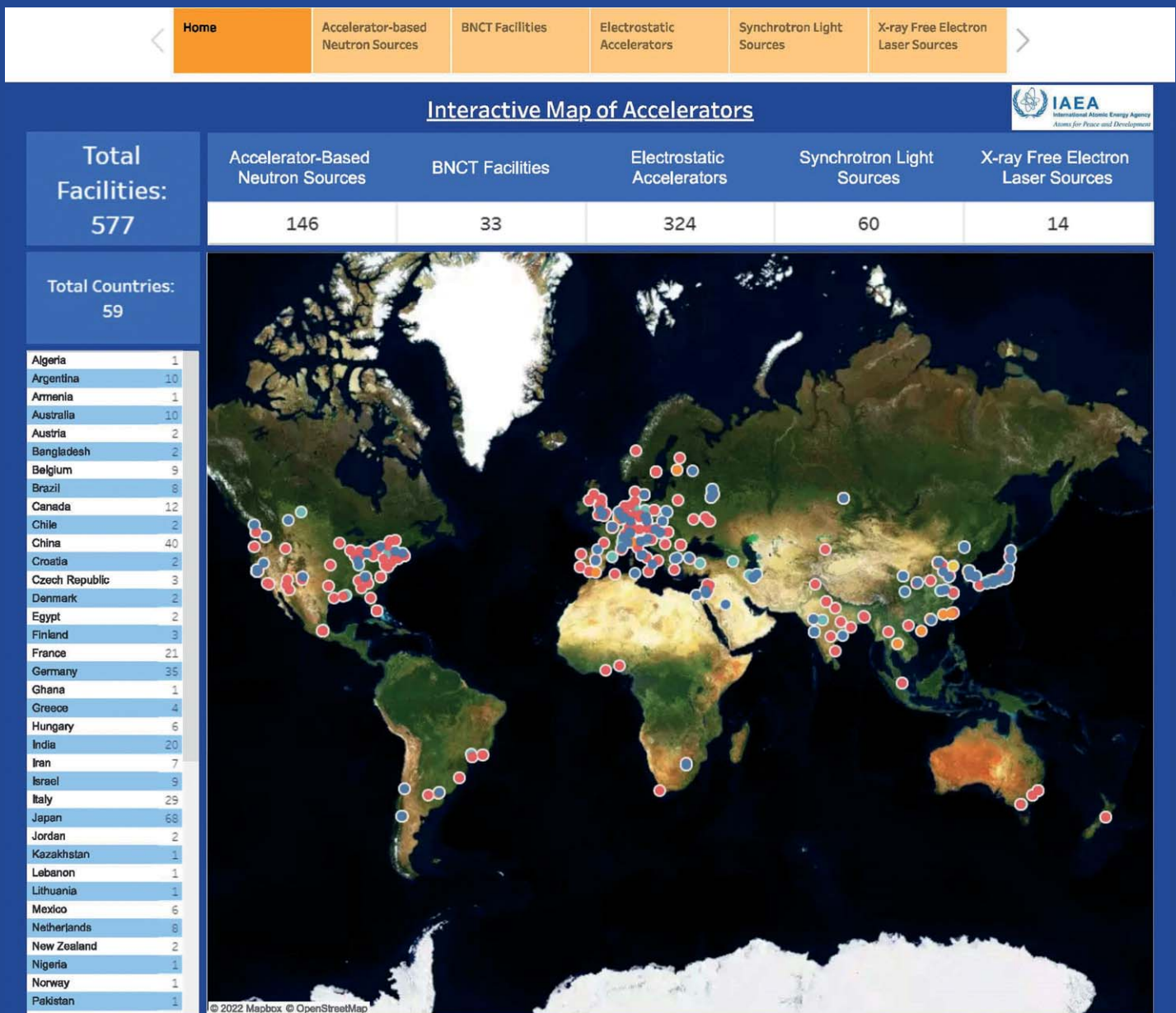


Fig. 10 Screen snapshot of the interactive map of accelerators of the IAEA Accelerator Knowledge Portal.

2.9 The International Conference on Accelerators for Research and Sustainable Development

The Physics Section and the Radioisotope Products and Radiation Technology (RPRT) Section are actively involved in organizing IAEA conferences relevant to accelerator development and applications. In May 2022, they organized the very first IAEA *International Conference on Accelerators for Research and Sustainable Development: From Good Practices Towards Socioeconomic Impact*

(AccConf2022) [21]. It was held as hybrid event and attended by around 500 scientists (with 200 in-person participation, see [fig. 11](#)) from 72 IAEA Member States. While focusing mainly on the use of accelerators in research and development, the conference was also geared towards accelerator technologists, operators, users, entrepreneurs, and other stakeholders involved in multiple applications of accelerator technologies as well as policy makers and regulators. A detailed report on AccConf2022 can be found in [22].



Fig. 11 Group photo of the in-person participants of AccConf2022.

2.10 The IAEA Ion Beam Facility project

Ion beam accelerators have a large potential for contributing to the socio-economic development of IAEA Member States because of their unique analytical and irradiation capabilities to solve problems of modern society related to environmental pollution and monitoring, climate change, water and air quality, forensics, cultural heritage, agriculture, development of advanced materials for energy production via fission or fusion, and many other fields.

In order to assess whether and how the acquisition and operation of an ion accelerator at the IAEA Seibersdorf laboratories could match the Physics Section's mission and existing program of teaching and training, and the provision of services across many fields of relevance to the IAEA Member States and internal to IAEA users, a comprehensive feasibility study for the establishment of an Ion Beam Accelerator Facility was performed. For this purpose, a stakeholder analysis and quantification of user needs were first collected; internal IAEA stakeholders contributed through interviews and external stakeholders through a questionnaire aimed at evaluating the current needs of Member States for training and for *ad hoc* services, including access to particle accelerators for research and development. More than 60 replies were

received, representing close to 40 Member States.

According to the results of the stakeholder analysis and quantification of user needs, the most commonly demanded areas of interest and support were identified:

- Training in accelerator technology, such as ion sources and vacuum systems, end stations (design and assembly), radiation detectors in general, control systems, and nuclear electronics.
- Training in IBA techniques.
- Services relevant to the analysis of samples, mostly related to environmental studies, using IBA and nuclear microprobe techniques.
- Applied research using IBA for bulk analysis of air quality, archaeological samples, minerals, 2D and 3D imaging, and spatially resolved analysis using a nuclear microprobe.

Following the results of the feasibility study, in combination with the already established XRF and Neutron Science Facility (NSF) at NSIL/Physics, an appropriate accelerator facility design matching the IAEA's programme for capacity building and provision of products and services across many fields of interest for the Member States was identified, which includes:

- A 3 MV Electrostatic accelerator (TANDEM) equipped with ion sources delivering a wide variety of ions, from the lightest element (protons) to the heaviest ones (gold).
- An experimental hall dedicated to the production of fast neutrons with accelerated proton beams, for a broad spectrum of applications.
- State-of-the-art scientific instruments for the detection of ions, neutrons, X-rays, and γ -rays, and specific experimental setups for IBA techniques.
- Digital electronics and signal processing for Data Acquisition and Analysis.

The layout of the ion beam facility (IBF), which resulted from the feasibility study and the subsequent conceptual design, is shown in [fig. 12](#). The IBF project is expected to be funded through extrabudgetary contributions by the IAEA Member States and other stakeholders. For this purpose, an open call has been launched asking Member States, organizations as well as the private sector for direct funding and contributions in-kind, or equipment donations.

3 Summary

The IAEA Physics Section manages and implements a vibrant program to support accelerator-based research and applications in multiple disciplines by using available IAEA tools and frameworks, *i.e.*, organization of scientific and technical meetings, webinars and conferences, implementing CRPs, facilitation of access to accelerator facilities, offering training activities and capacity building in accelerator-based technologies and techniques through TC projects, management of databases and thematic portals, and support to international conferences, workshops and schools. It also assists Member States in carrying out feasibility and infrastructure assessment studies for establishing new accelerator facilities and provides them with technical support in preparing technical specifications and procurement as well as in installing, operating, maintaining, and upgrading their accelerator facilities and associated instrumentation.

Motivated by the unique contribution of accelerator

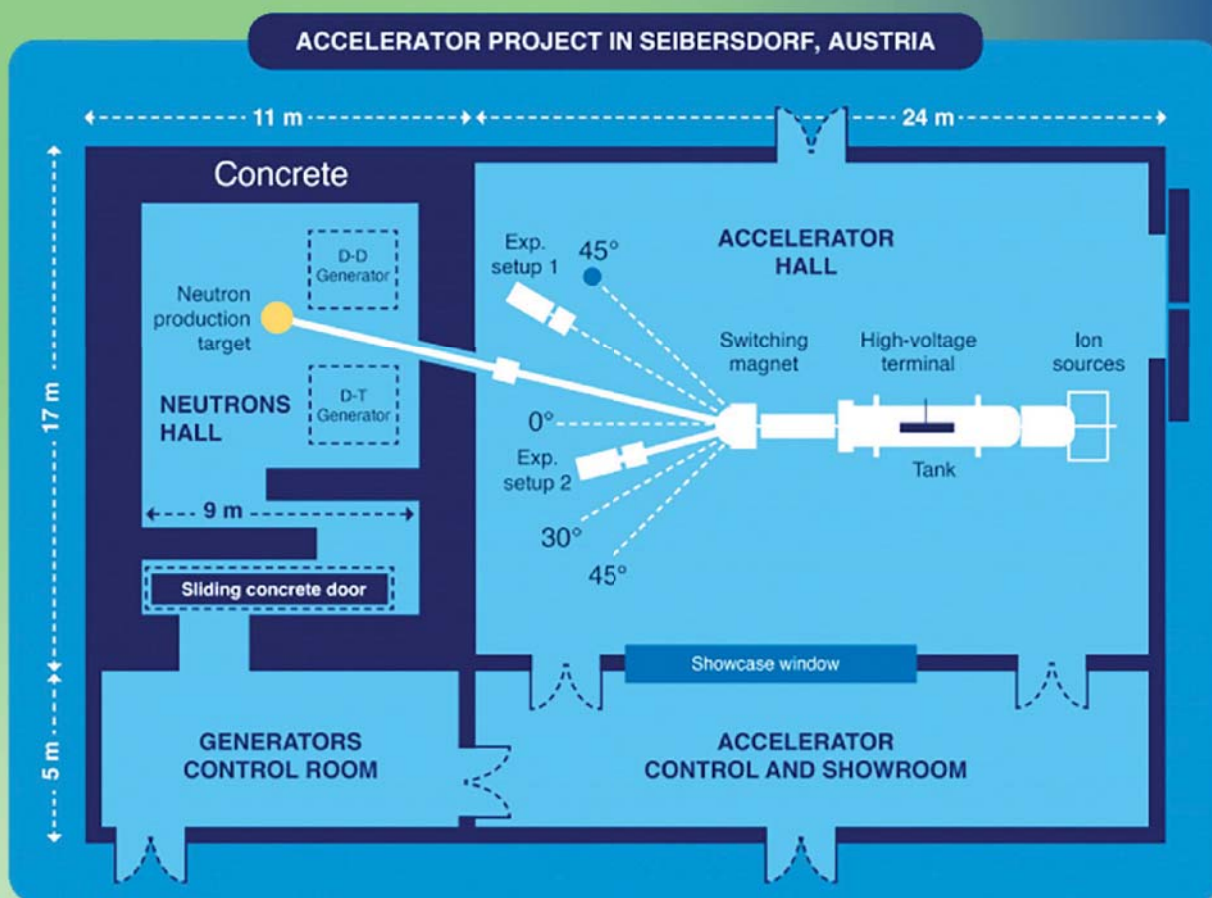


Fig. 12 Proposed layout of the IAEA Ion Beam accelerator facility.

technologies to socio-economic development of IAEA member states, an Ion Beam Facility project has been launched with the objective to establish a state-of-the-art accelerator facility at the IAEA laboratories in Seibersdorf to cover the identified Member States' needs for training scientists and engineers in operating and applying ion

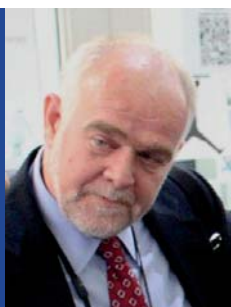
beam accelerator technologies and to provide a range of associated services. The expected outcome of the project is to enhance the capacity and capability of the IAEA to address the rising demand of Member States to provide assistance in promotion of applied research using accelerator technologies for a large variety of practical applications.

References

- [1] <https://www.iaea.org/>
- [2] <https://www.iaea.org/about/organizational-structure/department-of-nuclear-sciences-and-applications/division-of-physical-and-chemical-sciences>
- [3] <https://www.iaea.org/about/organizational-structure/department-of-nuclear-sciences-and-applications>
- [4] <https://www.iaea.org/services/coordinated-research-activities/how-crps-work>
- [5] <https://www.ictp.it/>
- [6] *Compact Accelerator Based Neutron Sources*, IAEA TECDOC No. 1981, IAEA, Vienna (2021); <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1981web.pdf>
- [7] *Improvement of the Reliability and Accuracy of Heavy Ion Beam Analysis*, Technical Reports Series No. 485, IAEA, Vienna (2019); <https://www.iaea.org/publications/11130/>
- [8] <https://www.iaea.org/services/technical-cooperation-programme/how-it-works>
- [9] <https://www.iaea.org/about/partnerships/collaborating-centres>
- [10] <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- [11] <https://nucleus.iaea.org/sites/accelerators/Pages/beamtime.aspx>
- [12] <https://www.irb.hr/eng/Divisions/Division-of-Experimental-Physics/Laboratory-for-ion-beam-interactions>
- [13] <https://indico.ictp.it/event/8332/>
- [14] <https://indico.ictp.it/event/8681/>
- [15] <https://indico.ictp.it/event/8728/>
- [16] <https://tlabs.ac.za/>
- [17] <https://nucleus.iaea.org/sites/accelerators/Pages/IBA-video-demonstrations.aspx>
- [18] <https://elearning.iaea.org/m2/course/view.php?id=761>
- [19] <https://seeiist.eu/>
- [20] <https://nucleus.iaea.org/sites/accelerators/>
- [21] <https://www.iaea.org/events/acconf22>
- [22] <https://cerncourier.com/a/accelerating-a-better-world/>

Sotirios Charisopoulos

Sotirios Charisopoulos holds a PhD in Nuclear Physics from the University of Cologne, Germany. He has more than 30 years of research experience in Nuclear Physics and its applications with particle accelerators. From 2014 to 2017, he was the Director of the Institute of Nuclear and Particle Physics of the Research Centre "Demokritos", Athens, Greece, and Head of its Tandem accelerator laboratory. He has been coordinator of various European nuclear physics networks and national delegate in research policy bodies and expert committees, including NuPECC, and chair of many international conferences and program advisory committees of accelerator laboratories. He was granted more than 6 M€ as coordinator of competitive projects aiming at establishing or upgrading accelerator infrastructures. He is the author of more than 180 articles in scientific journals and conference proceedings. In his current position as Senior Nuclear Physicist at the IAEA, he focuses on accelerator technologies and their applications with societal and economic importance.



Danas Ridikas

Danas Ridikas holds a position of Head of IAEA Physics Section at the Department of Nuclear Sciences and Applications. The Section is responsible for planning and implementing activities in the areas of i) research and applications with accelerators and neutron sources, ii) nuclear instrumentation, and iii) controlled nuclear fusion research and technology.



The Section also operates the Nuclear Science and Instrumentation Laboratory, located at the Agency's Laboratories in Seibersdorf. Danas Ridikas has a PhD in experimental nuclear physics in France and MSc in theoretical nuclear physics in Norway. He also holds a BSc in physics awarded in Lithuania and MSc in environmental sciences and policy in the UK. In 2012 Ridikas has obtained his doctor habilitation degree in fundamental sciences. Before coming to the IAEA, Ridikas has worked for almost 10 years at the French Atomic Energy Commission (CEA) as a senior scientist and, later, as a laboratory head in the Nuclear Physics Division. He is the author of over 100 publications in international journals and served as a member of various scientific and advisory committees.

CENTO ANNI DI IUPAP

ROBERTO LALLI

*Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale (DIMEAS),
Politecnico di Torino, Torino, Italia*

L'Unione Internazionale di Fisica Pura e Applicata è stata fondata nel 1922 attraverso la formazione di un comitato temporaneo incaricato di dare il via all'istituzione internazionale per la fisica del Consiglio Internazionale delle Ricerche. Il centenario della sua fondazione è un'occasione per ripercorrere la storia della IUPAP concentrandosi sulle delicate relazioni tra fisica e politica nelle istituzioni dedicate alla cooperazione scientifica internazionale. Contesti storici diversi hanno determinato il tipo di internazionalismo scientifico che la IUPAP poteva attuare. Esempi tratti dalla partecipazione italiana alle sue attività evidenziano il cambiamento di ruolo della IUPAP dalla sua fondazione a oggi.

Nel 2022 l'Unione Internazionale di Fisica Pura e Applicata (IUPAP) ha celebrato il centesimo anno dalla sua fondazione. Il centenario della IUPAP ha fornito l'occasione per dare risalto all'internazionalismo scientifico come valore in grado di costruire ponti tra popoli e nazioni a dispetto delle tensioni geopolitiche che hanno condizionato le relazioni internazionali lungo l'arco del XX secolo, fino ad arrivare all'attuale guerra in Ucraina. Proprio il conflitto attuale ha portato a ribadire tale ruolo politico delle istituzioni dedicate alla cooperazione scientifica internazionale, come la IUPAP. Partendo dalla sua storia, la IUPAP ha rivendicato con forza questo ruolo. Mentre da un lato ha redatto una dichiarazione ufficiale condannando l'aggressione russa e ha accettato l'Ucraina come nuovo membro, dall'altro si è sforzata di non rompere con la Federazione Russa che rimane suo membro effettivo, sostenendo l'inappropriatezza di bandire scienziati russi dalle proprie conferenze [1].

Questo articolo ripercorre alcune delle tappe principali della storia della IUPAP dalla fondazione ai giorni nostri per fornire un'immagine più complessa della cooperazione scientifica internazionale, un'immagine in cui universalismo e internazionalismo scientifico non sono valori astorici, ma dipendenti dalle condizioni create dal contesto politico nel quale la IUPAP si è trovata ad agire. In quest'ottica si discuteranno anche il posizionamento dei fisici e delle istituzioni italiane nelle diverse fasi della storia della IUPAP.

1 Le origini e il periodo tra la due Guerre

I limiti dell'idea che la cooperazione scientifica internazionale sia un elemento che favorisca sempre e comunque una maggiore comprensione tra le nazioni in virtù delle caratteristiche proprie della ricerca scientifica emergono appieno guardando al processo che porta alla fondazione della IUPAP nel 1922. Alla fine della Prima Guerra Mondiale, gli scienziati dei Paesi usciti vincitori dal conflitto crearono l'International Research Council (IRC) per organizzare la cooperazione scientifica internazionale. Il modello era quello del National Research Council statunitense, a sua volta creato nel 1916, in vista della possibile entrata degli Stati Uniti nel conflitto mondiale, quale organismo centralizzato per la coordinazione delle ricerche scientifiche con finalità belliche compiute in ambienti industriali e accademici. È cruciale comprendere che la creazione dell'IRC aveva tanto il compito di favorire la cooperazione scientifica dei Paesi alleati quanto quello di escludere da questa cooperazione gli scienziati delle nazioni dell'alleanza sconfitta, in primo luogo i tedeschi. Anche se proposto da scienziati, la fondazione dell'IRC nel 1919 era, in altre parole, un progetto con forti connotazioni politiche che difficilmente può essere considerato una rappresentazione ideale dell'internazionalismo scientifico [2].

La struttura dell'IRC fu articolata attraverso la creazione di unioni scientifiche dedicate a specifiche discipline. Già nel 1919, durante la prima Assemblea Generale dell'IRC, furono fondate le prime unioni, incluse l'Unione Astronomica Internazionale (IAU), l'Unione Internazionale di Geodesia e Geofisica (IUGG) e l'Unione Internazionale di Chimica

Pura e Applicata (IUPAC). Si posero, inoltre, le basi di altre unioni, inclusa un'unione dedicata alla fisica, di cui fu redatto uno statuto preliminare. Nel momento della fondazione dell'IRC e della prime unioni nel 1919, l'esclusione dei Paesi appartenenti alle Potenze Centrali fu decretata per statuto. Non solo, ma si fissò da subito un periodo di dodici anni prima che questa regola potesse essere modificata. Solo allo scadere della convenzione, che fu fissata nel dicembre 1931, sarebbe stato possibile modificare gli statuti per ammettere i Paesi inizialmente esclusi. Queste regole valevano anche per tutte le unioni che avrebbero operato all'interno dell'IRC, in quanto solo istituzioni rappresentanti i Paesi che erano già membri dell'IRC potevano essere ammesse come membri delle unioni.

Anche se lo statuto di un'unione di fisica fu redatto nel 1919, si dovettero attendere tre anni prima dell'effettiva creazione dell'unione. Il motivo fu che alla conferenza del 1919, il numero di fisici eminenti presenti e i Paesi che essi rappresentavano era troppo esiguo. Solo nella riunione del 1922 si istituì un comitato esecutivo temporaneo di dieci fisici, con William H. Bragg come presidente, il fisico francese Henri Abraham come segretario generale e Orso Mario Corbino come uno dei membri (fig. 1, fig. 2 e fig. 3) [3]. L'esistenza della IUPAP fu poi formalmente ratificata durante la prima Assemblea Generale che si tenne a Parigi nel dicembre 1923 con sedici membri nazionali, inclusa l'Italia [4].

Il processo che aveva portato alla fondazione dell'IRC e delle unioni scientifiche nel 1919 aveva visto nel matematico e fisico italiano Vito Volterra un esponente di primo piano,

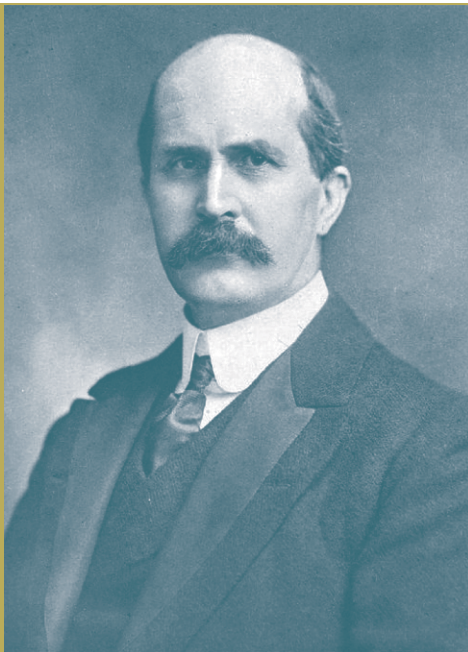


Fig. 1 William Henry Bragg, presidente della IUPAP dalla sua fondazione al 1931.

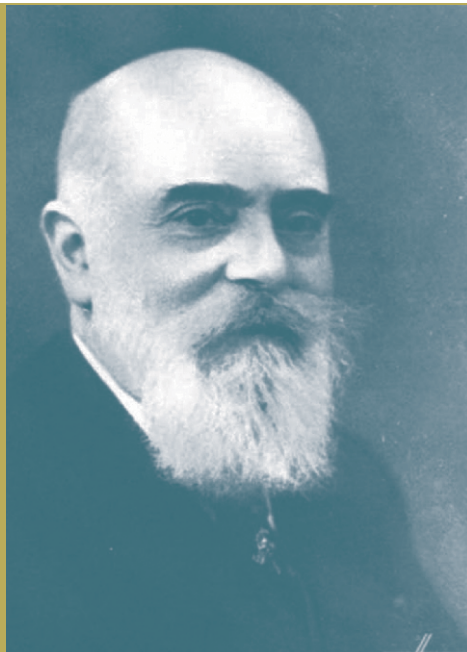


Fig. 2 Henri Abraham, segretario generale della IUPAP dalla sua fondazione fino al momento della sua morte ad Aushwitz nel 1943.



Fig. 3 Orso Mario Corbino, il membro italiano della commissione esecutiva temporanea della IUPAP nel 1922.

tanto che Volterra fu immediatamente eletto come uno dei cinque membri del comitato esecutivo dell'IRC nel ruolo di vice-presidente. La partecipazione italiana nell'IRC era legata anche al progetto di Volterra e altri scienziati italiani di utilizzare il contesto istituzionale internazionale per modificare l'organizzazione delle ricerche scientifiche e tecnologiche in Italia. Nelle discussioni che portarono alla fondazione dell'IRC fu previsto, infatti, che ogni Paese aderente istituisse un organismo statale centrale per l'organizzazione della ricerca sul modello del National Research Council statunitense. Volterra si fece promotore di questo progetto in patria, avviando un processo che porterà alla creazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), istituito nel novembre 1923 all'interno dell'Accademia dei Lincei, sotto la presidenza dello stesso Volterra [5].

Il periodo che va dalla formazione del comitato esecutivo della IUPAP nel luglio 1922 alla sua prima Assemblea Generale nel dicembre 1923 è un momento di trasformazioni drammatiche nella politica italiana. La marcia dei militanti del Partito Nazionale Fascista su Roma nell'ottobre del 1922 aveva portato a un cambio di regime con l'incarico a Benito Mussolini per la formazione di un nuovo governo. Anche se dichiaratamente antifascista, Volterra inizialmente collaborò con il nuovo regime per le questioni che riguardavano lo sviluppo scientifico e tecnologico del Paese e per la creazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche, la quale fu finalizzata proprio durante il governo Mussolini. Nello statuto del Consiglio Nazionale delle Ricerche si stabiliva l'adesione all'IRC e si istituiva la formazione di commissioni specifiche che avrebbero aderito alle varie unioni dell'IRC [6]. Nel momento della creazione della IUPAP, però, il Consiglio Nazionale delle Ricerche e le sue commissioni non erano ancora in essere. In quel momento, l'istituzione che rappresentava ufficialmente l'Italia nei consessi scientifici internazionali era ancora l'Accademia dei Lincei. Nella prima Assemblea Generale che ratificò la costituzione della IUPAP fu, infatti, il solo Volterra a rappresentare l'Italia, in qualità di presidente dell'Accademia dei Lincei. Un comitato CNR di fisica fu costituito solo nel dicembre del 1925, dopo la seconda Assemblea Generale della IUPAP, quando i limiti dell'istituzione erano già ampiamente emersi e le dinamiche politiche nazionali avevano modificato le modalità di partecipazione italiana in tale istituzione.

Rispetto ad altre unioni, in particolare la IAU, la IUPAP si caratterizzò per inattività e ininfluenza. I limiti di un'organizzazione dedita alla cooperazione internazionale fondata sul boicottaggio degli scienziati tedeschi divennero evidenti soprattutto nel campo della fisica, dove gli sviluppi principali nella fisica teorica avevano come centro nevralgico proprio comunità scientifiche di lingua tedesca. In aggiunta, il cambiamento della situazione politica internazionale dopo gli accordi tra Francia e Germania nel Patto di Locarno del

1925 e l'entrata della Germania nella Società delle Nazioni nel 1926, aveva reso l'esclusione degli scienziati tedeschi dall'IRC e dalle unioni non solo dannosa dal punto di vista scientifico, ma anche anacronistica rispetto alle distensioni politiche di quegli anni. I tentativi di modificare l'assetto dell'IRC per permettere l'adesione dei Paesi sconfitti durante la Prima Guerra Mondiale prima del 1931 si scontrarono però con le posizioni intransigenti degli scienziati francesi e belgi che si opposero alle richieste provenienti dalla comunità scientifica tedesche come condizione per la loro adesione all'IRC e alle Unioni [7]. La IUPAP soffrì enormemente di tale situazione. Mentre la cooperazione internazionale con i fisici tedeschi fu ristabilita in molti consessi già dalla metà degli anni '20, come nelle importantissime conferenze di Como e di Solvay del 1927, la IUPAP continuava a proporre una cooperazione internazionale estremamente parziale. Questo nonostante Bragg, Abraham e altri membri del comitato esecutivo della IUPAP si fossero espressi in favore di un'entrata rapida dei fisici tedeschi, proponendo addirittura di non tenere più assemblee finché i fisici tedeschi non fossero stati liberi di partecipare [8].

In Italia il problema politico e scientifico causato dal perdurare del boicottaggio scientifico nei confronti della Germania portò alla decisione del CNR di dissociarsi dall'IRC. La trasformazione del governo fascista in una dittatura nel 1925 portò alla riforma del CNR nel 1927, con la sua separazione dall'Accademia dei Lincei e la sua ristrutturazione come organismo governativo il cui direttorio era nominato dal Governo e faceva riferimento direttamente al Capo del Governo. La riforma del 1927 vide anche l'allontanamento di Volterra da ogni posizione direttiva all'interno del CNR, mentre Guglielmo Marconi, più vicino al regime, fu nominato presidente. Questi cambiamenti portarono l'Italia a prendere posizioni molto dure contro l'impianto dell'IRC, specialmente dopo che Volterra fu confermato membro del comitato esecutivo e vice-presidente dell'IRC nonostante le proteste dei rappresentanti italiani che sottolinearono come Volterra non fosse più un rappresentante ufficiale dell'Italia e non avesse più alcun ruolo nel CNR [9].

Nel 1928 si aprirono le discussioni all'interno dell'IRC per la modifica degli statuti che avrebbero dovuto portare al rinnovamento dell'organizzazione e alla possibilità dell'entrata della Germania e di altri Paesi fino ad allora esclusi. Il CNR assunse posizioni molto nette chiedendo l'emancipazione totale delle unioni dall'IRC [10], in particolare per svincolare l'IRC da logiche politiche tendenzialmente sfavorevoli al fascismo che il vice-presidente del CNR, il giurista e diplomatico Amedeo Giannini, considerava dominanti in seno all'IRC [11]. Quando le discussioni su come modificare l'IRC erano ancora in atto, nel 1930 il direttorio del CNR iniziò a discutere della partecipazione italiana chiedendo un rapporto alle commissioni italiane

sulla situazione delle varie unioni “perché e[ra] noto che qualche unione funziona[va] bene, qualcuna mediocrementemente, e altre non funziona[va]no affatto” [11]. Dopo aver stabilito che “il Consiglio [Internazionale delle Ricerche] così com’è organizzato non serve a niente”, il direttorio propose a Mussolini di sostenere la dissociazione dell’Italia dall’IRC [12]. Questa decisione fu accompagnata da una campagna politica di informazione degli ambasciatori italiani in tutti i Paesi che erano stati fino ad allora esclusi e che erano indecisi se affidarsi o meno ad un IRC basato su nuovi presupposti, in particolar modo in Germania [13]. Il processo che portò alla trasformazione dall’IRC all’International Council of Scientific Unions (ICSU) nel 1931 avvenne, quindi, senza l’adesione dell’Italia. E lo stesso avvenne nella IUPAP, nella cui assemblea del 1931 l’Italia non figurava più tra i Paesi membri [14]. È, infatti, difficile non pensare che tra le unioni considerate inutili dal direttorio del CNR non ci fosse proprio l’unione di fisica, cui il CNR non pagava la quota associativa dal 1927.

Molti degli scienziati attivi nel processo della trasformazione dall’IRC alla ICSU vedevano, al contrario, la nuova struttura come una possibilità concreta per rilanciare la cooperazione internazionale su nuove premesse, che avrebbero potuto portare all’adesione della Germania. Questo è particolarmente vero per il fisico statunitense Robert Millikan, il quale accettò la nomina a presidente della IUPAP nel 1931, proprio con la speranza di ricostituirla su nuove basi. Su queste premesse venne costituita la prima commissione scientifica della IUPAP, la commissione SUN incaricata di stabilire standard internazionali per l’uso di simboli, unità di misura e nomenclatura sotto la direzione del fisico britannico Richard Glazebrook. Su queste premesse, inoltre, due fisici tedeschi, Walther Gerlach e Emil Rupp, furono invitati all’Assemblea Generale del 1931, il che, nelle speranze di Millikan, doveva simbolizzare il preludio all’adesione formale della Germania alla IUPAP. La mancata adesione dell’Italia alla ICSU e alla IUPAP fu da subito motivo di preoccupazione per Millikan, il quale scrisse personalmente a Marconi chiedendo se avrebbe potuto contare su una piena partecipazione italiana alle attività della IUPAP [15].

Tali sviluppi, uniti all’impressione che la Germania fosse sul punto di aderire alla ICSU e alle unioni, portarono a un ripensamento all’interno del direttorio del CNR nelle discussioni con Mussolini, il quale concordò che l’Italia dovesse aderire alla ICSU per motivi di carattere politico [16]. Dopo questa decisione, l’Italia rientrò a far parte della IUPAP, pagando anche le quote arretrate, come se la sua associazione non fosse mai decaduta, quando per vari mesi la posizione principale del direttorio del CNR era stata quella di rimanere affiliati solo alle unioni più utili [17]. Mentre gli sviluppi della partecipazione dell’Italia alla IUPAP rallegrarono Abraham e Millikan, lo stesso non avvenne per la Germania. Nonostante l’apertura formale all’adesione della Germania, le

accademie tedesche non aderirono alla ICSU e alla maggior parte delle unioni per vari motivi, tra cui l’opposizione di molti scienziati tedeschi a far parte di istituzioni che erano nate con l’obiettivo esplicito di escluderli e il disaccordo tra le accademie tedesche su quale fosse l’accademia rappresentante lo stato tedesco. Nel 1933 l’ascesa al potere di Adolf Hitler interruppe infine qualunque tipo di negoziato per la partecipazione della Germania in tali organismi internazionali [18].

Millikan non poté, quindi, modificare il tipo di internazionalismo limitato implementato dalla IUPAP. Tale situazione divenne chiara al momento di trovare il successore di Millikan. Quando Niels Bohr fu informato di essere stato eletto *in absentia* alla quarta Assemblea Generale della IUPAP, tenutasi a Londra nel 1934, Bohr rifiutò di diventare presidente di un’organizzazione fino a che questa non fosse diventata “pienamente internazionale” [19]. È illustrativo dell’inattività della IUPAP il fatto che la IUPAP di fatto non ebbe alcun presidente dal 1934 al 1937, quando anche Enrico Fermi, contattato da Abraham, declinò l’offerta senza addurre spiegazioni [20]. Il fisico svedese Manne Siegbahn accettò infine la carica ancora con la speranza di poter coinvolgere i fisici tedeschi, ma il contesto politico non permise di rivitalizzare la IUPAP prima che tutte le sue attività si interrompessero con lo scoppio della Seconda Guerra Mondiale. Ebreo francese, il segretario generale della IUPAP dalla sua fondazione, Henri Abraham, fu deportato nel campo di sterminio di Auschwitz nel 1943 dove fu ucciso, probabilmente al suo arrivo. Contrariamente ad alcuni suoi connazionali, Abraham si era distinto per i molti tentativi fatti durante il suo mandato per coinvolgere i tedeschi nelle attività della IUPAP fino a prospettare nel 1931 un’uscita della IUPAP dall’ICSU nel caso questo fosse risultato il principale ostacolo all’adesione della Germania alla IUPAP.

2 Gli anni della rifondazione, 1947-1956

La IUPAP fu rifondata su nuove basi nei mesi successivi alla Seconda Guerra Mondiale. Riflettendo sull’esperienza negativa della IUPAP nel periodo precedente, alla quinta Assemblea Generale, che si tenne a Parigi nel gennaio 1947, si discusse del suo futuro con qualche delegato che sosteneva fosse meglio porre fine all’istituzione vista la sua sostanziale inutilità [21]. Ad opporsi a tali propositi fu il segretario generale della IUPAP nel 1946-47, il fisico tedesco Paul P. Ewald. Da oppositore del nazismo, Ewald era emigrato in Gran Bretagna fin dal 1937. Già nel periodo tra le due guerre mondiali, Ewald si era distinto per i tentativi di mantenere i contatti tra fisici tedeschi e la comunità internazionale anche con operazioni supportate dalla stessa IUPAP. Sul finire della Seconda Guerra Mondiale, Ewald aveva intrapreso varie azioni per la ricostruzione della cooperazione internazionale,



Fig. 4 Ottava Assemblea Generale della IUPAP, Londra, 1954. Il Presidente Nevill F. Mott è al centro della foto, alla sua sinistra Karl K. Darrow e il segretario generale Pierre Fleury. Alla sua destra si riconosce Werner Heisenberg. Fu la prima Assemblea Generale della IUPAP in cui i fisici tedeschi parteciparono come membri ufficiali. AIP Emilio Segrè Visual Archives, Marshak Collection.

lavorando per la costituzione dell'Unione Internazionale di Cristallografia [22]. All'Assemblea Generale della IUPAP del 1947, Ewald sottolineò l'importanza che la IUPAP poteva avere in quel momento storico e propose di definire esplicitamente il legame tra fisica e politica nell'azione della IUPAP. Sottolineando il fallimento dell'impostazione data alla IUPAP alla fine della Prima Guerra Mondiale, Ewald propose che l'azione della IUPAP si basasse su alcuni principi insindacabili come l'apertura a tutte le nazioni, incluse quelle che erano state sconfitte durante la Seconda Guerra Mondiale "non appena le condizioni politiche lo avrebbero permesso" [23]. L'assemblea accettò i principi enucleati da Ewald, un passaggio che fu cruciale nel plasmare l'azione della IUPAP negli anni a venire.

Questo movimento dei fisici che ridefinirono i principi basilari della IUPAP si dovette relazionare al nuovo ordine politico e al sistema di istituzioni internazionali che emersero alla fine della Seconda Guerra Mondiale. Dal punto di vista politico, le relazioni internazionali venivano ad essere condizionate dalla Guerra Fredda incipiente, ossia la contrapposizione politica, ideologica, economica e militare

tra il blocco euro-atlantico e il blocco sovietico. Nei primi anni della Guerra Fredda, l'Unione Sovietica portò avanti una politica di rottura con le istituzioni internazionali, incluse quelle di carattere scientifico. La IUPAP si trovò, quindi, ad essere composta, in maggioranza, da membri rappresentanti gli Stati del nascente blocco occidentale con l'aggiunta di qualche Paese non allineato. Per quanto i principi accettati nel 1947 dichiaravano un'apertura incondizionata verso tutti i Paesi, il contesto politico iniziale impedì una realizzazione immediata di questo principio all'interno della IUPAP. Il nuovo contesto favorì, invece, un ingresso rapido della Germania Ovest. Il comitato esecutivo della IUPAP accettò la Repubblica Federale Tedesca come membro della IUPAP già nel 1952, ancora prima che la Germania Ovest avesse riacquisito la piena sovranità politica, il che avverrà solo nel 1955. Ratificato nell'Assemblea Generale del 1954, l'ingresso ufficiale della Germania Ovest pose fine al problema politico principale che aveva bloccato le attività della IUPAP sin dalla sua fondazione (fig. 4) [24].

Per quanto riguarda il panorama istituzionale, l'ICSU aveva firmato nel dicembre del 1946 un accordo formale con

l'UNESCO che garantiva all'ICSU, e alle sue unioni, sia una maggiore disponibilità di fondi, sia il riconoscimento formale di essere le organizzazioni non-governative di riferimento per le Nazioni Unite per tutte le questioni riguardanti le scienze naturali [25].

L'impegno dei fisici attivi nella ricostruzione della cooperazione internazionale in congiunzione con il nuovo quadro istituzionale ebbe un impatto notevolissimo sulle attività della IUPAP. Fino ad allora, la IUPAP non aveva creato nessuna commissione dedicata a specifiche branche di ricerca in fisica, nonostante queste fossero previste fin dal primo statuto. Già dall'assemblea del 1947 la costituzione di commissioni specializzate e affiliate divenne uno dei cardini dell'attività della IUPAP. Le attività delle commissioni, poi, iniziarono a delineare uno dei compiti centrali della IUPAP, ossia quello di sponsorizzare, in varia forma, congressi internazionali devoti a campi di ricerca specifici.

Questa rinnovata attività della IUPAP trovò nell'Italia uno dei membri nazionali più coinvolti. Il periodo successivo alla Seconda Guerra Mondiale vide i fisici italiani fortemente impegnati in un tentativo di ricostruzione delle infrastrutture e delle comunità di ricerca, se non di costruzione di qualcosa di totalmente nuovo per quanto riguarda le modalità di fare ricerca. Questo tentativo si basò su una forte cooperazione tra vari attori individuali e istituzionali ed ebbe una componente di internazionalizzazione fondamentale [26]. Molti dei fisici centrali in questo processo di (ri)costruzione, in primis Edoardo Amaldi e Luigi Polvani, si operarono per porre l'Italia al centro dei sistemi di cooperazione internazionale che stavano emergendo all'epoca. Basti citare che fin dalla sua elezione come Presidente della SIF nel 1947, Polvani, e con lui il nuovo consiglio di presidenza della SIF, cercarono di internazionalizzare *Il Nuovo Cimento* attraverso una serie di strategie editoriali e di "propaganda" con l'ambizione non taciuta che potesse trasformarsi nella "Rivista Europea di Fisica," per utilizzare un'espressione Amaldi usò già nel 1950 [27].

In questa strategia di (ri)costruzione della fisica italiana attraverso un processo di internazionalizzazione, la IUPAP assunse un ruolo di primo piano come appare evidente da molti verbali del consiglio di presidenza della SIF negli anni '50. Mentre il comitato italiano di riferimento per la IUPAP era una commissione incaricata all'interno del Comitato per la Fisica e la Matematica del CNR, è evidente che fu la SIF a farsi promotrice di eventi con supporto finanziario o, in alcuni casi, anche solo "morale" della IUPAP, in primo luogo l'organizzazione in Italia di convegni internazionali su specifici temi di ricerca [28]. Uno dei primi ad essere realizzato fu il primo congresso internazionale di meccanica statistica del 1949. Co-organizzato dalla SIF a Firenze, questo fu uno dei primissimi convegni co-organizzato dalla prima

commissione specialistica istituita dalla IUPAP, la neonata Commissione di Termodinamica e Meccanica Statistica. Questo è solo un esempio di attività notevolissima che la SIF e fisici italiani ebbero l'interesse a promuovere all'interno di una strategia di (ri)appropriazione di uno spazio centrale nel contesto della cooperazione internazionale, tanto che Amaldi poté riferire orgogliosamente che "l'Italia è stata la nazione preferita" per la realizzazione dei convegni e congressi internazionali sponsorizzati dalla IUPAP nei primissimi anni del dopoguerra [29].

Anche grazie all'elezione di Amaldi come membro del comitato esecutivo della IUPAP dal 1948, la SIF costruì con la IUPAP un rapporto di cooperazione privilegiato che negli anni '50 si articolava su vari progetti (fig. 5). La strategia di rendere *Il Nuovo Cimento* un riferimento internazionale si allineò con il progetto della IUPAP di promuovere la conoscenza della letteratura scientifica sovietica presso i propri membri. Nel 1952, su richiesta del Presidente della IUPAP, Nevill F. Mott, Polvani propose che fosse *Il Nuovo Cimento* a pubblicare delle rassegne "sugli studi che sulla fisica si svolgono in Russia e paesi satelliti" [30]. Questo portò a una serie di rassegne nel *Supplemento del Nuovo Cimento* con enorme dispendio di tempo dello stesso Polvani e del vice-direttore Piero Caldirola, la pubblicazione delle quali permisero, a detta di Polvani, un ritorno importante in termini di immagine e di diffusione internazionale per *Il Nuovo Cimento* e il *Supplemento* [31]. Il caso italiano mostra come il ruolo della IUPAP venisse interpretato da una comunità scientifica con obiettivi ambiziosi di promozione e supporto della crescita della ricerca in fisica all'interno del proprio territorio in un contesto di cooperazione internazionale.

3 La presidenza Amaldi (1957-1960) e l'allargamento a Est

Il forte legame che unì la comunità dei fisici italiani alla IUPAP ebbe il suo apice nell'organizzazione della nona Assemblea Generale della IUPAP a Roma nel 1957, dove Amaldi fu eletto presidente. Era un momento di profondi cambiamenti nelle relazioni internazionali. Dopo la morte di Stalin e la fine della Guerra di Corea nel 1953, l'Unione Sovietica intraprese un cambiamento in politica estera che portò all'entrata dei Paesi del blocco sovietico nelle organizzazioni internazionali, incluse quelle scientifiche [32]. L'Unione Sovietica fece richiesta formale di adesione alla IUPAP nel 1956. Accolta immediatamente dal comitato esecutivo, l'entrata dell'Unione Sovietica fu ratificata proprio durante l'Assemblea Generale di Roma. Tale adesione, a sua volta, permetteva l'entrata e il coinvolgimento delle comunità dei fisici dei Paesi dell'intero blocco sovietico e dei Paesi ad esso alleati, inclusa la Repubblica Popolare Cinese [33].



Fig. 5 Edoardo Amaldi alla riunione del comitato esecutivo della IUPAP nel 1952. Alla sua sinistra John Slater. Al centro dalla parte opposta del tavolo si riconosce Nevill F. Mott, presidente della IUPAP tra il 1951 e il 1957, e alla sua sinistra il fisico francese Pierre Fleury, segretario generale della IUPAP tra il 1947 e il 1963. Crediti: Università La Sapienza di Roma, Dipartimento di Fisica, Archivio Amaldi¹.

Non sfuggì ai fisici impegnati nella IUPAP che tali cambiamenti avrebbero implicato profonde modifiche nelle modalità di azione della IUPAP e nel senso di cooperazione internazionale che questa avrebbe potuto implementare nel futuro. Il presidente uscente Nevill Mott si congratulò con Amaldi sottolineando proprio questo aspetto: “Penso che con i Russi e i Cinesi passerai un periodo interessante” [34]. Secondo alcuni storici, la scelta cadde su Amaldi proprio perché considerata persona adatta a gestire questo passaggio della IUPAP da un’organizzazione a carattere prevalentemente occidentale a un’organizzazione che avrebbe dovuto gestire il negoziato tra i due blocchi della Guerra Fredda [35].

Le parole di Mott si rivelarono profetiche. Durante la sua presidenza, Amaldi si trovò a dover affrontare importanti controversie di carattere politico e nel contempo a gestire la crescita dell’attività scientifica. Il problema politico centrale che Amaldi e il comitato esecutivo della IUPAP dovettero affrontare fu l’adesione di territori la cui indipendenza politica era contestata nel quadro della Guerra Fredda. Dopo la vittoria del partito comunista nella guerra civile in Cina, il governo nazionalista cinese aveva trovato rifugio a Taiwan instaurando un regime con il nome di Repubblica Cinese di Taiwan. La Repubblica Cinese di Taiwan non era riconosciuta dalla Repubblica Popolare Cinese, ma la sua indipendenza era sostenuta dagli Stati Uniti e dai Paesi della NATO. Un altro territorio il cui stato di indipendenza era contestato era quello

della Repubblica Democratica Tedesca. La Germania Ovest, e con lei tutti i Paesi della NATO, non riconosceva l’esistenza indipendente della Germania dell’Est, mentre questa era riconosciuta dai Paesi del blocco orientale.

Amaldi si trovò a dover gestire le richieste di adesione alla IUPAP che arrivarono tra il 1958 e il 1959, prima dalla Repubblica Popolare Cinese, e poi da Taiwan e dalla Germania dell’Est. Secondo gli statuti della IUPAP i propri membri erano istituzioni considerate rappresentanti nazionali. La definizione stessa di membro implicava una sorta di indipendenza del territorio di cui un gruppo istituzionalizzato di fisici si proclamava rappresentante nazionale. Tale definizione rendeva l’accettazione di una richiesta di una comunità operante in un territorio contestato passibile di conflitto politico nel contesto della Guerra Fredda, per le possibili reazioni dei comitati nazionali dei Paesi che non riconoscevano un dato territorio come indipendente. Dopo che il comitato esecutivo della IUPAP aveva già accettato la richiesta della Società di Fisica di Pechino, la richiesta da parte della Società di Fisica di Taiwan portò immediatamente alla reazione della Repubblica Popolare Cinese che minacciò di ritirare la propria candidatura se la candidatura di Taiwan fosse stata presa in considerazione dalla IUPAP [36].

¹ Fondo Edoardo Amaldi, Subfondo Archivio Amaldi eredi, terzo versamento, scatola 3, cartella Raccolta foto 4. Immagine digitalizzata dal Sistema Bibliotecario Sapienza, ed estratta dalla risorsa digitale della Sapienza Digital Library (URI: AMALDI0265).

Anche la richiesta della Repubblica Democratica Tedesca provocò la reazione immediata del comitato nazionale della Repubblica Federale Tedesca. Il presidente di tale comitato scrisse ad Amaldi che un comitato tedesco già esisteva e che, per questo, i fisici della Germania dell'Est avrebbero dovuto far parte di questo unico comitato nazionale tedesco, che ovviamente avrebbe mantenuto una maggioranza di fisici della Germania Ovest [37]. Queste controversie riguardavano direttamente la politica estera dei Paesi dei fisici coinvolti nello schema di alleanze della Guerra Fredda. In consonanza con un principio di bilanciamento tra blocchi, la risoluzione del comitato esecutivo sotto la presidenza Amaldi fu di accettare tutte queste richieste modificando implicitamente la definizione di comitato nazionale. In particolare, l'accettazione da parte del comitato esecutivo dell'adesione di Taiwan alla IUPAP rese per Amaldi impossibile rifiutare la richiesta della Repubblica Democratica Tedesca, nonostante le proteste del comitato nazionale dei fisici della Germania Ovest [38]. Come Amaldi comunicò al Presidente della Società di Fisica della Repubblica Popolare Cinese, il concetto base su cui il comitato esecutivo si era trovato d'accordo era il seguente: "anche due organismi appartenenti allo stesso Paese (in senso politico) possono diventare membri della IUPAP, purché rappresentino fisici che svolgono le loro attività in due aree territoriali diverse [...] L'accettazione da parte del Comitato Esecutivo dei due organismi sopra menzionati come membri dell'Unione si basa sulla situazione attuale e non riflette in alcun modo un giudizio sulla situazione politica" [39]. Nonostante i tentativi di Amaldi di giustificare la propria decisione e mostrare il bilanciamento attuato dal comitato esecutivo della IUPAP rispetto alle posizioni dei due blocchi politici, la Repubblica Popolare Cinese ritirò la propria candidatura. La Cina aderirà alla IUPAP solo un quarto di secolo dopo, nel 1984, e solo a seguito di una modifica formale degli statuti che trasformò la definizione di membro eliminando completamente il termine "nazionale" dalla stessa [40].

Anche a seguito di queste controversie, ma soprattutto in risposta all'aumentare dei Paesi membri della IUPAP e al nuovo ruolo dell'istituzione nel bilanciamento tra comunità di fisici operanti negli opposti blocchi della Guerra Fredda, Amaldi rinunciò alla prassi di essere eletto per un secondo triennio. Egli sostenne, invece, che la nuova situazione richiedesse una nuova norma basata su una rotazione più rapida tra presidenti appartenenti a culture e contesti geopolitici diversi. Amaldi si operò per stabilire una formula che assicurava, da un lato, una rapida turnazione di presidenza dopo un solo termine, ma, dall'altro, permetteva una continuità data dall'elezione anche di un *primo* vicepresidente che sarebbe divenuto presidente dopo tre anni. Nella corrispondenza su questo tema è evidente come tutto il ragionamento sulle prassi e candidature proposte fosse

condizionato dalle considerazioni sul bilanciamento tra Paesi, e blocchi politici, il che portò alla proposta, alquanto esplicita, di una sorta di alternanza di rappresentanza tra Est e Ovest [41]. Accettata dal comitato esecutivo e ratificata dall'Assemblea Generale del 1960, lo schema proposto da Amaldi si rivelerà duraturo, confermando la chiarezza di intenti che aveva ispirato tali proposte in uno specifico contesto storico.

A partire dalla presidenza Amaldi fino al termine della Guerra Fredda tre temi hanno caratterizzato l'azione della IUPAP, in aggiunta alle attività delle commissioni e dei convegni in supporto di varie branche di ricerca in fisica. Il primo tema ha riguardato il problema della didattica della fisica in relazione ad una riforma del curriculum di fisica negli anni '60. Fin dall'istituzione della commissione IUPAP per la didattica della fisica nel 1960, questo tema fu posto in relazione con un altro tema che divenne predominante nello stesso periodo: la questione di come sostenere la crescita dell'attività in fisica nei Paesi in via di sviluppo [42]. Già l'associazione con l'UNESCO richiama questo tipo di intervento, che fu accentuato dopo l'ingresso dell'Unione Sovietica nella IUPAP con la risoluzione dell'Assemblea Generale del 1957 che invitava "il Presidente e il Segretario Generale a contattare l'U.N.E.S.C.O. sulla possibilità di aiutare i Paesi sottosviluppati in questioni riguardanti lo sviluppo della fisica" [43]. L'attenzione verso questo tema cambiò le priorità all'interno della IUPAP. In primo luogo, essa obbligò a dare molto più spazio alle questioni relative alla fisica applicata, che fino a quel momento non erano ancora state oggetto di attività specifiche, in base all'ipotesi che i Paesi in via di sviluppo fossero più interessati alle applicazioni della fisica piuttosto che alla ricerca di base. In secondo luogo, indirizzò l'attenzione che stava emergendo sulla didattica della fisica verso un contesto specifico. La IUPAP divenne un forum per discutere la pedagogia nell'insegnamento della fisica con un'attenzione speciale su come la didattica della fisica dovesse essere articolata in maniera efficace nei Paesi in via di sviluppo in relazione al loro stato attuale e ai loro interessi. Questo spostamento di attenzione era in parte legato alle preoccupazioni dei Paesi dei due blocchi politici di attrarre Paesi non allineati nella loro sfera d'influenza durante la Guerra Fredda e al ruolo dell'UNESCO nel regolare tali preoccupazioni.

Il terzo tema che emerse come centrale in questo periodo dipendeva ancor più direttamente dal contesto della Guerra Fredda. Questo era legato alle difficoltà nell'ottenimento dei visti per la partecipazione a conferenze internazionali da parte di fisici di determinate nazionalità. Esso emerse inizialmente in relazione allo status della Germania Est. I fisici della Repubblica Democratica Tedesca dovevano superare problemi enormi per partecipare a conferenze nei Paesi della NATO, a causa della dottrina Hallstein attuata

dalla Repubblica Federale Tedesca in politica estera. La Germania Ovest minacciava di interrompere le relazioni diplomatiche con le nazioni che avessero riconosciuto la Repubblica Democratica Tedesca, il che significava che gli scienziati tedesco-orientali erano obbligati ad ottenere documenti speciali a Berlino Ovest per poter partecipare alla maggior parte delle conferenze all'estero, un processo tremendamente lento e complicato [44]. Questa delicata questione fu discussa nel corso dell'undicesima Assemblea Generale della IUPAP tenutasi a Varsavia nel 1963, che vide una grande partecipazione di fisici dell'Europa orientale. L'Assemblea Generale approvò la risoluzione secondo cui delle azioni dovevano essere intraprese per salvaguardare il seguente principio: "la possibilità di viaggiare liberamente per tutti gli scienziati costituisce una base indispensabile per una cooperazione internazionale di successo" [45].

In discussione con altre unioni e con l'ICSU, il problema dei visti fu presto riconcettualizzato come il principio della "libera circolazione degli scienziati", la cui attuazione divenne uno dei principali punti di attività di tutte le unioni. Gli statuti dell'ICSU del 1958 contenevano già una dichiarazione in cui si sosteneva che le riunioni da essa sponsorizzate avrebbero dovuto tenersi in Paesi che consentivano la partecipazione di rappresentanti di tutte le nazioni membri dell'ICSU [46]. Dopo la ratifica dell'accettazione della Germania dell'Est come membro nazionale della IUPAP, che avvenne durante l'Assemblea Generale tenutasi ad Ottawa nel 1960, la IUPAP si trovò nella situazione di non poter rispettare questa risoluzione. Il problema della partecipazione della Germania dell'Est ai congressi dei Paesi della NATO innescò una discussione che portò alla creazione, nel 1963, del comitato permanente dell'ICSU sulla libera circolazione degli scienziati, il quale aveva lo scopo di suggerire azioni per evitare l'esclusione, dovuta a discriminazione politica, degli scienziati dai congressi internazionali.

Sostenuti dalle attività e dalle raccomandazioni del comitato permanente dell'ICSU, i dirigenti della IUPAP fecero della questione della libera circolazione degli scienziati un punto centrale dell'attività della IUPAP, che negli anni seguenti divenne sempre più indipendente dal problema originario legato allo status della Germania dell'Est. La crescente rilevanza di questo tema nelle riunioni del comitato esecutivo e delle Assemblee Generali della IUPAP rese sempre più evidente l'attività di diplomazia scientifica che la IUPAP stava attuando. Ciò fu reso esplicito dal fisico canadese Larkin Kerwin, Segretario Generale Associato della IUPAP dal 1963, che nel 1969 scrisse: "Lo scopo dell'Unione [...] non ufficiale è quello di contribuire alla comprensione generale a livello internazionale" [47].

A partire dalla fine degli anni Sessanta il tema della libera circolazione degli scienziati divenne così centrale che nel 1972 il fisico canadese Robert E. Bell lo definì "l'obiettivo più

importante della IUPAP" [48]. Sebbene Bell stesse esprimendo delle opinioni personali, ci sono pochi dubbi che la questione della libera circolazione degli scienziati fosse al centro delle attività della IUPAP tanto da influenzare profondamente l'organizzazione delle conferenze e le relazioni tra i comitati IUPAP e i governi dei Paesi che ospitarono tali conferenze. Quando gli statuti della IUPAP subirono importanti modifiche nel 1981, in parte dovute alla necessità di cambiare la definizione di membro per consentire l'associazione della Repubblica Popolare Cinese, anche gli scopi dell'unione dichiarati nel primo articolo dello statuto furono emendati. Gli scopi dell'Unione aumentarono a sei voci contro la versione precedente che ne conteneva solo quattro. Le novità principali erano gli ultimi due obiettivi: "favorire la libera circolazione degli scienziati" e "incoraggiare la ricerca e l'istruzione" [49].

4 Il periodo successivo alla fine della Guerra Fredda

Si potrebbe pensare che la fine della Guerra Fredda abbia rappresentato una possibilità per la IUPAP di promuovere una cooperazione a livello globale senza i limiti imposti dalle tensioni politiche della Guerra Fredda. In realtà, vari rapporti dei presidenti durante le Assemblee Generali degli anni '90 dimostrano che avvenne l'esatto contrario. La fine della Guerra Fredda comportò piuttosto una perdita d'identità della IUPAP. Il ruolo assunto nel periodo dal 1957 al 1989 di mediatore tra i due blocchi per facilitare la cooperazione e l'incontro tra le comunità di fisica degli opposti schieramenti venne meno con la fine della Guerra Fredda. Il tema della libera circolazione degli scienziati, che, come detto sopra, era diventato centrale nelle azioni della IUPAP, diventò un problema minoritario, di fatto diminuendo l'importanza della IUPAP nel favorire lo scambio e la cooperazione internazionale. La crisi d'identità della IUPAP si risolse con una maggiore aspirazione globalista in assonanza con i processi di globalizzazione successivi alla fine della Guerra Fredda. Tale approccio ha avuto il suo apice nel 2008 con un significativo allargamento della IUPAP, grazie all'associazione di vari Paesi africani, latino americani e asiatici.

Sono questi gli anni in cui emersero come centrali alcune problematiche di carattere sociale che prima erano state ignorate, in particolare il problema della parità di genere nella fisica. Per decenni, solo un numero sparuto di fisiche era entrato a far parte del comitato esecutivo o anche delle commissioni delle IUPAP, come appare evidente anche solo dalle foto delle Assemblee Generali. All'interno della IUPAP il problema della disparità di genere emerse solo dopo la fine della Guerra Fredda, quando finalmente fu riconosciuto come questione centrale e si creò il gruppo di lavoro "donne in fisica", istituito nel 1999, che ha avuto anche lo scopo di favorire la partecipazione delle fisiche nei ruoli dirigenziali

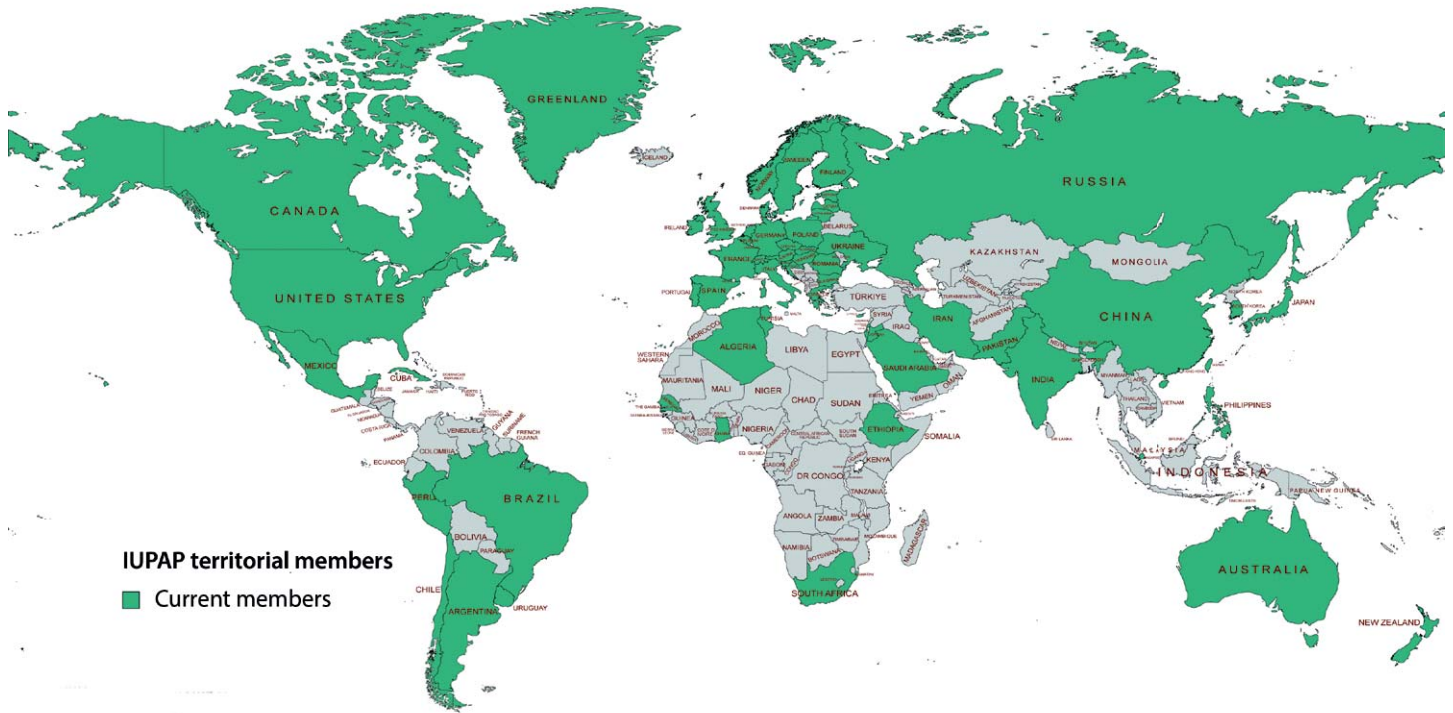


Fig. 6 Membri territoriali della IUPAP nel 2023. Immagine prodotta da Jens Vigen con <https://www.mapchart.net/world.html>, licenza CC-SA-4.0.

Created with mapchart.net

della IUPAP. Simbolo di questa traiettoria è l'elezione nel 2021 della fisica argentina Silvina Ponce Dawson come presidente designato della IUPAP, la seconda presidente in oltre un secolo di attività, dopo la fisica svedese Cecilia Jalskog, che ha ricoperto la carica nel periodo 2011-14.

Oggi, a cento anni dalla sua fondazione, la IUPAP rimane vicina all'aspirazione globalista che, sebbene emersa già alla fine degli anni '50, si è consolidata dopo la fine della Guerra Fredda. Il numero dei membri "territoriali" è cresciuto sopra i 60 e, mentre rimangono forti disparità nella rappresentanza dei diversi continenti, il processo di graduale estensione geografica della partecipazione alla IUPAP appare evidente (fig. 6). Nei primi anni del XXI secolo, agli scopi della IUPAP si è aggiunto un nuovo primo articolo che enuncia la missione della IUPAP: "Assistere lo sviluppo della fisica a livello mondiale, promuovere la cooperazione internazionale nel campo della fisica e contribuire all'applicazione della fisica per la soluzione di problemi di interesse per l'umanità". Tale enunciato ben descrive le attuali priorità della IUPAP. L'aspirazione globalista appare evidente nella missione della IUPAP, non solo nella rappresentatività e nell'ambito di attività in senso geografico, ma anche per l'obiettivo primario di contribuire con le applicazioni della fisica alla risoluzione dei problemi che riguardano l'intera umanità. Questa missione è in linea con gli "Obiettivi di Sviluppo del Millennio" definiti durante il Millennium Summit delle Nazioni Unite nel 2000 e aggiornati poi, nel 2015, con gli "Obiettivi di Sviluppo Sostenibile" nell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite. La IUPAP si rapporta a questa missione con una serie di strategie e obiettivi. Oltre ad affrontare il problema della rappresentanza di genere, gli ultimi anni hanno visto la IUPAP focalizzarsi maggiormente sul supporto

verso giovani studiosi, con premi prestigiosi dati dalle varie commissioni specializzate, e sulla promozione dell'inclusività e della diversità, così come dell'onestà e integrità, sia scientifica che personale, "nella pratica, nella applicazioni e nella promozione della fisica" [50].

Dall'elezione di Amaldi come presidente IUPAP il rapporto che potremmo definire privilegiato tra la comunità dei fisici italiani e la IUPAP mutò sensibilmente. Il motivo di questo cambiamento è da ricondursi, innanzitutto, alla decisione dei fisici italiani di non proporre l'organizzazione di convegni in territorio nazionale durante il periodo di presidenza di Amaldi per salvaguardare Amaldi da possibili situazioni di conflitto di interesse [51]. Questo periodo di discontinuità, in combinazione con una diversa situazione generale che spingeva la comunità italiana ad avere altre priorità, fece sì che la IUPAP non rivestì più quel significato per la comunità dei fisici italiani che questa sembrò avere nel periodo della (ri)costruzione. Anche se una vocazione internazionalista rimase centrale nelle attività della SIF anche negli anni '60, essa si diresse più verso una cooperazione prettamente europea, esemplificata dal ruolo centrale avuto dalla SIF, e dal suo presidente all'epoca Gilberto Bernardini, nella fondazione della European Physical Society (EPS) nel 1968 [52].

Tutto questo non incise sulla partecipazione italiana alle attività delle commissioni della IUPAP che rimase sempre elevata. Un esempio recente di questo impegno italiano nello scenario della cooperazione internazionale è dato dalla fondazione del comitato PaNAGIC (Particle and Nuclear Astrophysics and Gravitation International Committee) nel 1998, la quale raggruppava vari ambiti di ricerca, tra i quali la ricerca sui neutrini cosmici e la ricerca sperimentale sulle onde gravitazionali. La fondazione di tale comitato fu diretta

conseguenza di proposte sostenute in primo luogo da Alessandro Bettini, allora Direttore dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso, durante e dopo il workshop del Megascience Forum su un osservatorio di neutrini in mare aperto che Bettini co-organizzò a Taormina [53]. Tale commissione poi ebbe un ruolo, tutto ancora da comprendere, nell'emergere di quella che viene ora chiamata astronomia multi-messaggero e, più in generale, della fisica astroparticellare.

5 Conclusioni

Questa ricostruzione, seppur breve e parziale, di alcuni momenti importanti nella storia centenaria della IUPAP permette di fare alcune considerazioni su alcuni aspetti centrali del ruolo che tale organizzazione ha giocato nella cooperazione internazionale in fisica e il suo significato nella storia della fisica in Italia. In primo luogo, tale ricostruzione mostra come in questo tipo di istituzione internazionale la speranza di una separazione netta tra scienza e politica sia una chimera. Emerge, piuttosto, che solo una riflessione accurata fatta dai fisici stessi sulle varie implicazioni politiche delle loro azioni in determinati contesti storici abbia permesso all'istituzione di progredire, anche nel senso di un miglioramento della sua attività prettamente scientifica. In secondo luogo, gli individui e le loro visioni hanno avuto un ruolo centrale. Nonostante l'inerzia istituzionale, sono state decisioni compiute da individui in determinati contesti storici che hanno permesso di superare le problematiche dovute a statuti e infrastrutture inadeguate ai tempi. Focalizzandosi sul caso italiano possiamo, inoltre, vedere quanto la produttività dell'allineamento tra gli interessi nazionali dei fisici italiani e una vocazione internazionalista abbia giovato. Come ripetuto da Polvani, Amaldi, Gilberto Bernardini e molti altri

quando rispondevano a lamentele ricorrenti provenienti da alcuni soci SIF sull'uso da parte di autori italiani dell'inglese ne *Il Nuovo Cimento*, la vocazione internazionale de *Il Nuovo Cimento* era nel migliore interesse della fisica italiana e dell'italianità stessa [54]. Fu questo allineamento tra interessi nazionali e vocazione internazionalista basata, come abbiamo visto, anche su un rapporto di stretta cooperazione con la IUPAP, che stava permettendo un'attività di rapida e solida costruzione della fisica italiana, nonostante le difficoltà finanziarie dell'epoca.

Ringraziamenti

Il testo è basato su una ricerca compiuta dagli storici della scienza che partecipano al progetto "One Hundred Years of IUPAP: A History" coordinato dall'autore e Jaume Navarro. Sono molto grato al supporto della IUPAP, che ha finanziato la digitalizzazione del proprio archivio storico e i workshop del progetto. Per la ricerca archivistica sul contributo italiano ho il piacere di ringraziare Giovanni Battimelli, Alessia Glielmi, Adele La Rana e, in particolare, Giovanni Paoloni per il loro prezioso supporto. Sono molto grato ad Antonella Cotugno e all'Archivio del Dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza per il supporto fornito durante le ricerche e il permesso di utilizzare il loro materiale archivistico e fotografico. La mia gratitudine va anche ad Alessandro Bettini per aver condiviso ricordi e documenti riguardanti la fondazione del PaNAGIC. Un ringraziamento speciale a Luca Petitto per i suoi commenti al testo finale. Infine, sono molto grato alla Presidente della SIF, Angela Bracco, e al personale dello staff, in particolare Barbara Alzani, per il permesso di visionare e citare il materiale storico presente negli uffici della SIF a Bologna e il supporto durante la ricerca.

Bibliografia

- [1] Statement by the International Union of Pure and Applied Physics on the Events Occurring in Ukraine, https://iupap.org/wp-content/uploads/2022/03/IUPAP_Ukraine_2022_03_01.pdf; e IUPAP Resolution Regarding International Conferences in this Time, https://iupap.org/wp-content/uploads/2022/03/IUPAP_conferences.pdf.
- [2] D. J. Kevles, "Into Hostile Political Camps: The Reorganization of International Science in World War I", *Isis*, 62 (1971) 47.
- [3] D. Fauque, R. Fox "IUPAP and the interwar world of science", in "Globalizing physics: One hundred years of IUPAP", curato da R. Lalli e J. Navarro (Oxford University Press, Oxford) in stampa (di seguito *Globalizing Physics*).
- [4] "Union internationale de physique pure et appliquée. Procès-Verbal Assemblée Générale Constitutive, Paris, Décembre 1923," Center for the History of Science, Royal Swedish Academy of Science, IUPAP Archives, Gothenburg Secretariat (di seguito *IuGS*), serie B2aa, Vol. 1.
- [5] L. Tomassini, "Le origini", in: "Per una storia del Consiglio Nazionale delle Ricerche" curato da R. Simili e G. Paoloni (Laterza, Roma) 2001, p. 5.
- [6] A. Guerraggio, G. Paoloni, "Vito Volterra" (Muzzio Editore, Roma) 2008.
- [7] B. Schroeder-Gudehus, "Les scientifiques et la paix: la communauté scientifique internationale au cours des années 20" (Presses de l'Université de Montréal) 1978.
- [8] "Union internationale de physique pure et appliquée. Deuxième assemblée générale. Bruxelles – 7 juillet 1925" *IuGS*, serie B2aa, Vol. 1.
- [9] G. Paoloni, "Organizzazione e risorse di un ente in formazione", in: "Per una storia del Consiglio Nazionale delle Ricerche" curato da R. Simili e G. Paoloni (Laterza, Roma) 2001, p. 201.
- [10] A. Giannini al segretario del Consiglio Internazionale delle Ricerche, Sir H. Lyons, 14 agosto 1929, Archivio Centrale dello Stato, Roma (di seguito ACS), Fondo Consiglio Nazionale delle Ricerche, serie Presidenza Marconi, scatola 20, cartella 367.
- [11] "Verbale della seduta del direttorio del Consiglio Nazionale delle Ricerche, 31 Ottobre 1930", Archivi del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma (di seguito ACNR).
- [12] "Verbale della seduta del direttorio del Consiglio Nazionale delle Ricerche, 22 gennaio" e "Verbale della seduta del direttorio del Consiglio Nazionale delle Ricerche, 13 febbraio 1931", ACNR.

- [13] G. Marconi al Ministro per gli Affari Esteri, 5 febbraio 1931, ACS, Fondo Consiglio Nazionale delle Ricerche, serie Presidenza Marconi, scatola 20, cartella 366.
- [14] "Union internationale de physique pure et appliquée. Troisième assemblée générale. Bruxelles – juillet 1931", *IuGS*, Serie B2aa, Vol. 1.
- [15] J. Navarro, "The 'happy thirties'? Millikan's troubled presidency of IUPAP," in: *Globalizing Physics*.
- [16] "Verbale della seduta del direttorio del Consiglio Nazionale delle Ricerche, 19 gennaio 1932", *ACNR*.
- [17] "Union internationale de physique pure et appliquée. Quatrième assemblée générale. Londres – 5 octobre 1934", *IuGS*, Serie B2aa, Vol. 1.
- [18] D. Fauque, R. Fox "IUPAP and the interwar world of science," e J. Navarro, "The 'happy thirties'? Millikan's troubled presidency of IUPAP", in: *Globalizing Physics*.
- [19] Bohr a Abraham, 12 dicembre 1934. Center for the History of Science, Royal Swedish Academy of Science, IUPAP archives, Quebec Secretariat, (di seguito *IuQS*) serie E1, scatola 5, cartella 38, traduzione dell'autore.
- [20] Abraham a Bohr, 22 settembre 1937, *IuQS*, serie E1, scatola 5, cartella 38.
- [21] Ewald a Kerwin, 19 gennaio 1972, *IuGS*, serie E2, Vol. 1, cartella E.
- [22] H. A. Bethe, G. Hildebrandt, "Paul P. Ewald", *Biogr. Mem. Fellows R. Soc.*, 34 (1988) 176.
- [23] "Report 5th General Assembly, September 1947" p. 17, *IuGS*, serie B2aa, Vol. 1, traduzione dell'autore.
- [24] R. Lalli "From diplomacy to physics and back again: The changing roles of IUPAP in the second half of the 20th century," in: *Globalizing Physics*.
- [25] P. Petitjean et al. (a cura di) "Sixty Years of Science at UNESCO 1945-2005" (Unesco, Paris) 2006.
- [26] G. Battimelli, "I fisici italiani negli anni della ricostruzione: dinamiche locali e contesto europeo", in Atti del XII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica, a cura di F. Calascibetta e L. Cerruti, *Rendiconti della Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL*, serie V – vol. XXXI, parte II, tomo II (2007) p. 421.
- [27] "Verbale della Adunanza del Consiglio di Presidenza SIF, 15 ottobre 1950," Archivi della SIF, Bologna (di seguito *ASIF*).
- [28] "Verbale della Adunanza del Consiglio di Presidenza SIF, 24 settembre 1952," *ASIF*.
- [29] "Verbale della Adunanza del Consiglio di Presidenza SIF, 16 settembre 1950," *ASIF*.
- [30] "Verbale della Adunanza del Consiglio di Presidenza SIF, 28 aprile 1952," *ASIF*.
- [31] "Verbale della Adunanza del Consiglio di Presidenza SIF, 20 dicembre 1953," *ASIF*.
- [32] F. Ivanov, "Science After Stalin: Forging a New Image of Soviet Science", *Science in Context*, 15 (2002) 317.
- [33] D. Cozzoli, "Edoardo Amaldi and the scientific collaboration with the USSR", in: *Globalizing Physics*.
- [34] Mott a Amaldi, 24 settembre 1957, Università La Sapienza di Roma, Archivio del Dipartimento di Fisica, Fondo Edoardo Amaldi (di seguito *FEA*), Subfondo Archivio Dipartimento Fisica (di seguito *ADF*), scatola 106, sottofascicolo 4, Corrispondenza Presidente, 1957-1960, traduzione dell'autore.
- [35] D. Cozzoli, "Edoardo Amaldi and the scientific collaboration with the USSR", in: *Globalizing Physics*.
- [36] J. Liu, Y. Xiaodong, D. Hu, "Getting out of the Negative Cycle in the Sine Curve: The Chinese Physical Society's Tortuous Path to the IUPAP, 1932-1984", in: *Globalizing Physics*.
- [37] D. Olšáková "UNESCO, ICSU or Scientific Unions? Troubles with East Germany and the role of scientific unions in overcoming Cold War policy", in: *Globalizing physics*.
- [38] Amaldi a F. Trendelenburg, 17 marzo 1960, *FEA*, *ADF*, scatola 106, sottofascicolo 4, Corrispondenza Presidente, 1957-1960.
- [39] Amaldi a Chou Pei-Yuan, President of the Physical Society of the PRC, 24 febbraio 1960, *FEA*, *ADF*, scatola 106, sottofascicolo 4, Corrispondenza Presidente, 1957-1960, traduzione dell'autore.
- [40] "Report on the 17th General Assembly, Paris, 1981, IUPAP-22 1982" p. 8, *IuGS*, serie B2aa, Vol. 2.
- [41] D. Cozzoli, "Edoardo Amaldi and the scientific collaboration with the USSR", in: *Globalizing Physics*.
- [42] J. Simon, "Restoring Physics: IUPAP's Commission on Education, Signature Pedagogies, and the Inter-National Politics of Science in the 1960s", in: *Globalizing Physics*.
- [43] "International Union of Pure and Applied Physics, Report of the Ninth General Assembly (1957)" p. 27, *IuGS*, serie B2aa, Vol. 1, traduzione dell'autore.
- [44] S. Turchetti, "The only (tense) encounter of a non-existent relationship? NATO, IUPAP and the 1963 Travel Ban Controversy", in: *Globalizing Physics*.
- [45] "International Union of Pure and Applied Physics, Report of the Eleventh General Assembly (1963)," p. 20, *IuGS*, serie B2aa, Vol. 1, traduzione dell'autore.
- [46] F. Greenaway, "Science International: A History of the International Council of Scientific Unions" (Cambridge University Press, New York) 1996, p. 94.
- [47] L. Kerwin, "The International Union of Pure and Applied Physics", *Phys. Today*, 22 (1969) 53, traduzione dell'autore.
- [48] R. E. Bell, "Memorandum", 23 settembre 1972, in: "Report on the 14th General Assembly, Washington DC, 1972", p. 92, *IuGS*, serie B2aa, Vol. 2, traduzione dell'autore.
- [49] "Report on the 17th General Assembly, Paris, 1981, IUPAP-22 1982," p. 8, *IuGS*, serie B2aa, Vol. 2, traduzione dell'autore.
- [50] Statuto della IUPAP adottato dall'Assemblea Generale il 22 ottobre 2021, <https://iupap.org/documents/statutes-bylaws/articles/>.
- [51] "Verbale adunanza del 23 aprile 1969, Commissione IUPAP del CNR," Università La Sapienza di Roma, Archivio del Dipartimento di Fisica, Fondo Enrico Persico, scatola 45, fascicolo 218.
- [52] R. Lalli, "Crafting Europe from CERN to Dubna: Physics as Diplomacy in the Foundation of the European Physical Society", *Centaurus*, 63 (2021) 103.
- [53] Bettini a J. Nilsson, 17 settembre 1997, *IuGS*, Serie E11, Vol. 12, cartella IUPAP Council Meeting Paris 1997.
- [54] "Verbale dell'Assemblea Generale dei Soci SIF, Cagliari, 24 settembre 1953", *ASIF*.



Roberto Lalli

Roberto Lalli is Assistant Professor in the history of science and technology at the Polytechnic University of Turin. His research interests focus on the interplay of social, political, and epistemic aspects in the production and circulation of knowledge in the physical sciences from the second half of the nineteenth century to the present. He has written extensively on the history of relativity theories and international scientific institutions in physics.

L'ARTE DELLA SCIENZA

PROGETTI ED ESPERIENZE APERTE ALLA CONTAMINAZIONE PER GENERARE NUOVI CONTENUTI

ELISABETTA BALDANZI^{1,2}, ALESSANDRO FARINI^{1,2}, COSTANZA TONINELLI^{1,2,3},
MASSIMO GURIOLI^{2,3}

¹ CNR - Istituto Nazionale di Ottica, Firenze, Italia

² Università di Firenze, Firenze, Italia

³ LENS, Laboratorio Europeo di Spettroscopia non Lineare, Firenze, Italia

In una società dove un approccio verticale nei confronti dell'informazione, in cerca di approfondimenti specialistici, cede il posto a una lettura orizzontale, che naviga veloce tra i molteplici stimoli, dobbiamo ripensare a che cosa voglia dire "comunicare la scienza". Questo cambiamento in atto ci costringe a nuove forme di pensiero e a osservare sotto una nuova ottica quelle che fino a oggi apparivano certezze. Le materie non hanno più confini, la contaminazione è diventata elemento essenziale di sopravvivenza, la velocità di movimento imprescindibile. In questo contesto in continua evoluzione occorrono nuove forme di comunicazione ibrida in grado di connettere concetti e pensieri. Un nuovo linguaggio deve essere concepito tra virtuale e reale per trovare nuove ispirazioni in grado di generare esperienze. Questa curiosità e intuizione hanno dato vita a una rete di progetti di *outreach* estesa e trasversale che entra ed esce dai luoghi della ricerca, con la voglia di parlare di luce e percezione visiva e di rispondere in primis a due domande: fino a che punto può l'arte essere un canale efficace per diffondere la cultura scientifica? Come può la scienza farsi interprete dell'arte?



Olafur Eliasson, *Beauty*, 1993, Palazzo Strozzi, Firenze. Photo Ela Bialkowska, OKNO Studio. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence. © 2022 Olafur Eliasson.

a cura di R. Nania

1 Introduzione

L'idea di una rete di progetti, in grado di dare una lettura contemporanea [1] alla richiesta di diffusione della cultura scientifica, è nata in modo modulare a partire da singole iniziative che hanno preso vita non a caso dalla collaborazione e dal confronto tra più Enti e istituzioni di ricerca. La mostra *Enlightening Mind* [2] ha avviato un percorso virtuoso che ha messo subito in chiaro l'esigenza di un cambiamento rispetto a canoni di comunicazione collaudati e utilizzati da tempo. Qual è la direzione da seguire per connettersi con un pubblico trasversale per età e formazione, continuamente sollecitato da stimoli provenienti da ogni dove? Come riuscire a catturare l'attenzione senza perdere di rigore?

Un forte impulso per provare a interpretare i tanti interrogativi è stato generato dall'incontro tra la Fondazione Palazzo Strozzi, dinamico centro culturale a Firenze di livello internazionale, l'Università degli Studi di Firenze, in particolare il Dipartimento di Fisica e Astronomia, il Corso di Studi in Ottica e Optometria, il CNR Istituto Nazionale di Ottica e il LENS, Laboratorio Europeo di Spettroscopia non Lineare. La scintilla è stata la mostra *Olafur Eliasson: Nel tuo tempo*, la più grande esposizione mai realizzata in Italia dedicata a uno degli artisti contemporanei più originali e visionari della nostra epoca, preziosa occasione di confronto e laboratorio sperimentale [3]. Maggiori informazioni sull'artista nel [box 1](#).

Box 1

Olafur Eliasson

L'artista Olafur Eliasson, nato a Copenaghen e di origine islandese, si esprime attraverso la pittura ma anche la fotografia, i video, le installazioni e i media digitali. La percezione è la prospettiva scelta per vivere la sua arte così come il movimento, i sentimenti e le esperienze. Lavora su più livelli, non solo all'interno dei musei, ma anche in spazi pubblici portando avanti azioni di educazione artistica, sociale e ambientale di grande impatto. Celebre il suo "Weather Project" del 2003 presso la Tate Modern Art Gallery di Londra che illumina la Turbine Hall attraverso un grande Sole oppure l'opera con cui ha allagato la Fondazione Beyeler in Svizzera, creando uno stagno all'interno dell'edificio, dove crescono piante acquatiche e vivono insetti. La sua mostra *Olafur Eliasson: Nel tuo tempo* [3] è stata presentata a Palazzo Strozzi dal 22 settembre 2022 al 22 gennaio 2023.

La consapevolezza di lavorare con strumenti inconsueti rispetto ai pigmenti di colore e alle tecniche marmoree, di interagire con uno strumento in grado di generare esperienze grazie alle sue proprietà ottiche tanto visibili quanto misteriose, ha spinto gli Enti coinvolti nella collaborazione a incontrarsi e a sviluppare una narrazione in grado di suscitare dibattito su temi a cui le opere d'arte e le teorie scientifiche tentano di dare un'interpretazione.

2 Una rete di nuovi progetti ed esperienze

La rete di progetti realizzati a partire dal 16 maggio 2022, giornata interazionale della luce, definisce una mappa di esperienze condivise a cui occorre dare forma. Vediamo alcune tappe.

2.1 Effetto moiré. Alla scoperta della mostra di Palazzo Strozzi

Entrare in un museo d'arte e parlare di fisica è un'esperienza che non ti aspetti ma non per questo meno coinvolgente. Proprio Richard Feynman ce lo ricorda quando afferma che "una conoscenza scientifica in realtà dilata il senso di meraviglia, di mistero, di ammirazione..." [4]. È possibile concretizzare questo messaggio creando un'esperienza artistica che si estenda oltre i confini del visibile? Da questo pensiero sono nate le visite guidate alla mostra *Olafur Eliasson: Nel tuo tempo*, organizzate con esperte ed esperti di storia dell'arte insieme a fisiche e fisici, contemporaneamente.

Olafur Eliasson, incantato dallo storico palazzo a Firenze, ha realizzato una mostra con installazioni "site specific", cioè che prendono vita solo all'interno di questo ambiente creando un'esperienza immersiva, unica e mai uguale a sé stessa, che si snoda intorno a un unico elemento: la luce.

Gruppi di visitatrici e di visitatori sono stati accompagnati in tandem tra le sale di Palazzo Strozzi in un confronto fatto di contenuti artistici e scientifici. Molti gli argomenti in comune: i principi ottici che generano gli effetti visivi caratterizzanti le opere d'arte, le pratiche tipiche del mondo della ricerca, la capacità di non mettere la luce in quanto tale al centro dell'opera ma la materia con cui interagisce, la connessione con i complessi meccanismi cerebrali insiti nella percezione visiva, la possibilità di avere un'esperienza artistica unica in cui è il soggetto il vero protagonista e molto altro ancora.

Ma non solo contenuti, anche procedure in comune. Le opere d'arte sono il fenomeno da osservare al quale può essere applicato, senza nulla togliere alle emozioni, il metodo scientifico. Di fronte alle grandi installazioni di Palazzo Strozzi si formulano delle ipotesi: come è possibile ottenere questo effetto? Da dove viene la luce? È un video proiettato o sono luci che attraversano la materia trasparente? E così via fino ad arrivare a formulare una vera e propria ipotesi che, grazie all'interattività delle opere stesse, può essere verificata attraverso osservazioni aggiuntive in modo da confermare quanto formulato oppure riavviare il processo.

E non solo, c'è un altro punto in comune tra la mostra e le procedure di laboratorio. Eliasson, che plasma opere d'arte su specifici effetti ottici, deve risolvere, come il ricercatore che usa la spettroscopia per studiare la materia, il problema di ridurre il segnale di fondo. Gli accorgimenti adottati dal mondo dell'arte e della ricerca sono fascinosamente simili: una sala dedicata a ciascuna opera consente di isolare l'ambiente dal segnale spurio. Tutto l'ambiente viene concepito in modo da concentrare tutta l'attenzione sul fenomeno d'interesse.

Ma vediamo cosa abbiamo trovato all'interno del percorso.

Palazzo Strozzi. Percorso espositivo. Si parte dalla grande opera che accoglie i visitatori nel chiostro del palazzo, *Under the weather* 2022. Una ellisse appositamente progettata per prendere vita solo ed esclusivamente in presenza di un osservatore che vede davanti a sé un'immagine in movimento intimamente a lui connessa. Questo è possibile grazie alle griglie di nastri paralleli sapientemente posizionate per generare un "effetto moiré" in grado di muoversi dal centro fino al contorno dell'ellisse. Questi battimenti rappresentano l'occasione per parlare di interferenza, di illusioni ottiche, di parallasse, di indeterminazione e di concetto di misura. Ma c'è un altro aspetto, l'opera d'arte prende vita solo in presenza di un osservatore che "misura" il fenomeno. Il visitatore diventa parte integrante dell'opera stessa accendendo un effetto ottico che solo l'essere umano, e in particolare quel determinato soggetto, è in grado di avviare in modo unico. Cosa succede quando nessun visitatore osserva? Esiste una realtà oggettiva a prescindere dai nostri sensi? In che modo il soggetto altera il sistema? Queste domande ci riportano immediatamente a concetti di fisica e la mostra rappresenta una preziosa occasione per condividere nuove prospettive. Come spesso accade in laboratorio anche in questo caso è la luce che ci permette di interagire con il sistema dando vita a una nuova esperienza. (fig. 1)

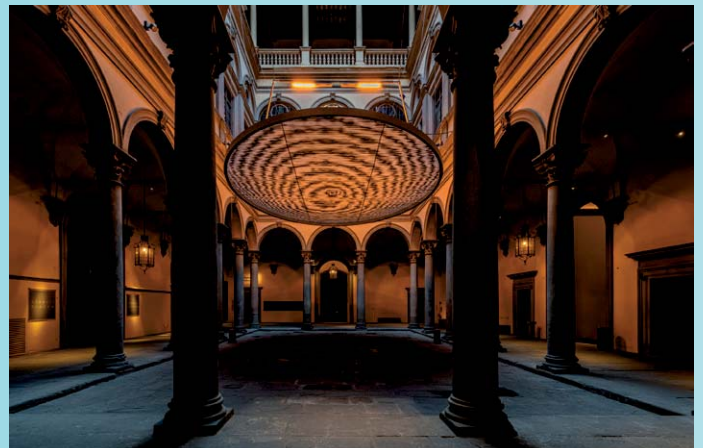


Fig. 1 Olafur Eliasson, *Under the weather*, 2022, Palazzo Strozzi, Firenze. Photo Ela Bialkowska, OKNO Studio. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence ©2022 Olafur Eliasson.

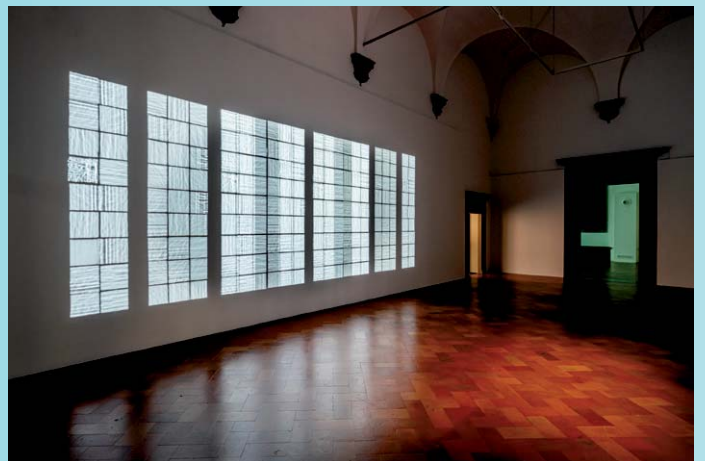


Fig. 2 Olafur Eliasson, *Triple seeing survey*, 2022, Palazzo Strozzi, Firenze. Photo Ela Bialkowska, OKNO Studio. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence © 2022 Olafur Eliasson.

Saliamo al primo piano, ci aspetta la seconda opera *Triple seeing survey 2022* (fig. 2). Un'immagine proiettata sulla parete ci pone un interrogativo: siamo di fronte a una proiezione o a un altro effetto ottico che include la nostra ombra in una esperienza di tipo dinamico? Qui accade quello che spesso avviene dentro i laboratori. Da un lato abbiamo due ipotesi di lavoro distinte per interpretare la prima osservazione e necessitiamo di "esperimenti" aggiuntivi per comprendere il fenomeno. Dall'altro, scoperto che l'immagine ci informa sulla corrugazione dei vetri antichi dei finestrini del palazzo, riflettiamo sul fatto che la luce non è oggetto di studio ma strumento per scoprire la composizione della materia intorno a noi. Le ricerche sulla luce hanno portato alla definizione delle più recenti teorie della fisica moderna, dalla radiazione di corpo nero siamo passati allo studio dei fotoni fino ad arrivare al loro comportamento quantistico. Ma così come la luce ci può fornire informazioni sulla composizione chimica di una stella, allo stesso modo, provenendo da tre proiettori esterni, attraversando le vetrate del palazzo, può comunicare dati sulle vetrate, sulla loro struttura fisica e sul metodo di lavorazione, ci sussurra la loro storia attraverso un'impronta ben riconoscibile.

C'è poi la sala dove perdersi è un attimo. *How do we live together?*

2019 (fig. 3). Il grande specchio posto sul soffitto completa il cerchio posto al centro e ti suggerisce domande. Qual è la giusta prospettiva? Esiste un punto di vista privilegiato del sistema? Il cerchio in mezzo alla sala è una parete divisoria o una porta dentro la quale entrare? Qual è la realtà, quella misurabile o quella che percepiamo? Nel pensare a questi interrogativi ci accorgiamo di quanto sia straordinario il sistema percettivo dell'essere umano e di come concetti come prospettiva, equilibrio e visione siano il frutto di un complicato e affascinante percorso fatto di sviluppo evolutivo ed esperienze reali.

Ma non finisce qui, troviamo lungo il percorso sale che ci fanno riflettere su che cosa sia il tempo (Olafur Eliasson stesso ha inserito nella sua bibliografia di riferimento il libro di Carlo Rovelli "*L'ordine del tempo*"), la realtà, il colore, la percezione. Ad esempio *Your timekeeping window* del 2022 mostra un orologio dove le 24 ore sono state realizzate attraverso lenti sferiche che ribattono l'immagine del mondo o a *Triple window* del 1999 che contrappone un tempo immobile rappresentato da un set illuminotecnico a vista in grado di simulare la luce che entra da una finestra (fig. 4). Per questo l'artista non ha voluto che il titolo della mostra fosse tradotto in inglese, la parola tempo in italiano ha un doppio significato, include anche il tempo meteorologico, mentre in



Fig. 3 a) Olafur Eliasson, *How do we live together?* 2019, Palazzo Strozzi, Firenze. Photo Ela Bialkowska, OKNO Studio. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence © 2022 Olafur Eliasson. b) Olafur Eliasson, *How do we live together?* 2019, Palazzo Strozzi, Firenze. Visita progetto *Effetto moiré*. Photo Giulia Del Vento. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence © 2022 Olafur Eliasson.

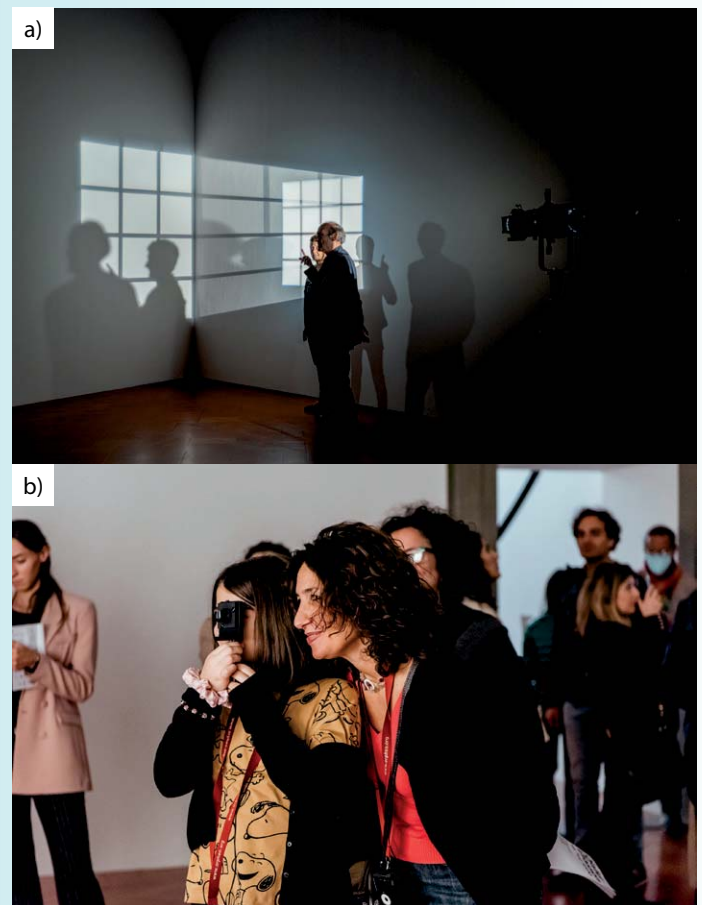


Fig. 4 a) Olafur Eliasson, *Triple window*, 1999, Palazzo Strozzi, Firenze. Photo Ela Bialkowska, OKNO Studio. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence © 2022 Olafur Eliasson. b) Olafur Eliasson, *Triple window*, 1999, Palazzo Strozzi, Firenze. Visita progetto *Effetto moiré*. Photo Giulia Del Vento. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence © 2022 Olafur Eliasson.

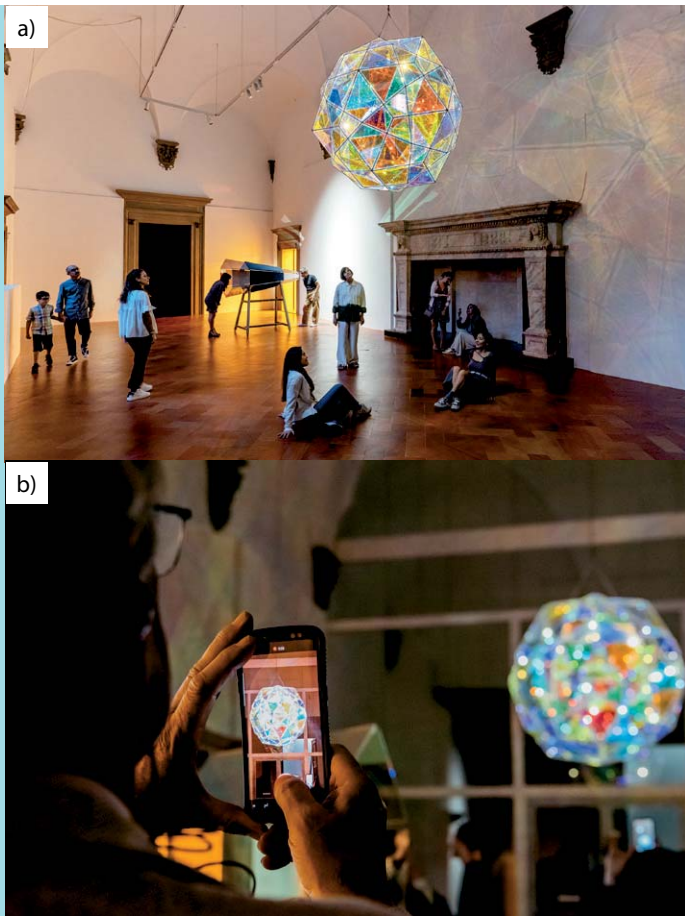


Fig. 5 a) Olafur Eliasson, *Color spectrum kaleidoscope*, 2003, *Firefly double-polyhedron sphere experiment*, 2020, Palazzo Strozzi, Firenze. Photo Ela Bialkowska, OKNO Studio. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence © 2022 Olafur Eliasson. b) Olafur Eliasson, *Firefly double-polyhedron sphere experiment*, 2020, Palazzo Strozzi, Firenze. Visita progetto *Effetto moiré*. Photo Giulia Del Vento. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence © 2022 Olafur Eliasson.



Fig. 6 a) Olafur Eliasson, *Room for one color*, 1997, Palazzo Strozzi, Firenze. Visita per il progetto *Effetto moiré*. Photo Giulia Del Vento. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence © 2022 Olafur Eliasson. b) Olafur Eliasson, *Room for one color*, 1997, Palazzo Strozzi, Firenze. Visita per il progetto *Effetto moiré*. Photo Giulia Del Vento. Courtesy Fondazione Palazzo Strozzi, Florence © 2022 Olafur Eliasson.

inglese avrebbe dovuto utilizzare entrambe le parole *time* e *weather*. Il percorso della mostra ci accompagna fino a *Beauty* (figura di sfondo in prima pagina), opera del 1993 presentata per la prima volta in un garage. Grazie alla presenza di acqua vaporizzata e a una sorgente luminosa, genera colori in movimento e domande su che cosa sia l'arcobaleno e come sia possibile visualizzarlo.

Dopo sale che immergono il visitatore in nuove dimensioni fatte di luce e colore (fig. 5) la mostra si conclude con *Room for one color* del 1997 (fig. 6), una capsula di luce monocromatica generata da sorgenti al sodio a bassa pressione. Tutto è color ocra oppure ha toni di grigio. Il colore a prima vista scompare lasciandoci con un'esperienza inconsueta in grado di stordire e con un grande interrogativo: il colore esiste? Possiamo far riferimento a una realtà oggettiva con cui confrontarsi o è il soggetto che determina che cosa è reale? La mostra diventa un grande laboratorio dove solo gli esperimenti possono suggerire a cosa credere.

A questo proposito sono stati distribuiti ai visitatori kit per prove, dimostrazioni ed esperimenti. Maggiori informazioni nel [box 2](#).

Box 2

Kit per esperimenti

Alla fine del percorso ciascun partecipante ha ricevuto un kit contenente strumenti per ricreare a casa fenomeni ottici, per arricchire le informazioni attraverso prove pratiche e per avere un ricordo di questa esperienza.

Il kit comprende:

1. Supporti trasparenti con griglie parallele per ottenere l'"effetto moiré"
2. Illusione ottica sul concetto di "afterimage"
3. Tabella colori che cambiano a seconda del tipo di luce con cui vengono illuminati, gli stessi che nella stanza monocromatica risultano solamente in sculture di grigio
4. Breve descrizione dei fenomeni ottici connessi con l'arcobaleno

2.2 Enlighting Art. Nuove prospettive presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia a Firenze

Per togliere le barriere non solo di pensiero ma anche materiali il progetto prende forma anche al di fuori di Palazzo Strozzi e reinterpreta i luoghi accademici della ricerca: il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università degli Studi di Firenze presso il Polo scientifico di Sesto Fiorentino. I corridoi diventano ambienti per uno scambio biunivoco di esperienze dove la descrizione scientifica dei fenomeni si affianca alle nuove domande che l'arte contemporanea ispira. Nasce così *Enlighting Art*, il fuori-mostra di Palazzo Strozzi per solcare la soglia dei laboratori e vivere un'esperienza nuova. Si è usato il termine inglese arcaico *to enlight*, invece del più diffuso *to enlighten*, per la sua più diretta assonanza con il termine *light*, così centrale nella visione umana, nell'ottica e nell'arte.

Alcune opere di Elisa Leonini, artista ferrarese che lavora con forme visive, sonore e plastiche, realizzando sculture e installazioni attraverso vari mezzi espressivi, accolgono i visitatori all'inizio del percorso. La sua ricerca consiste nel mettere in luce nuove percezioni possibili del reale attraverso opere sinestetiche che uniscono all'esperienza visiva anche quella sonora.

All'interno del Dipartimento sono presenti:

Landtrack 2015 (fig. 7): presenta ingrandimenti di tracce audio di dischi in bachelite, realizzati presso il Centro di Microscopia elettronica dell'Università di Ferrara, e riproduzione audio rallentata conformemente all'ingrandimento.

Orizzonte Vitale 2018 (fig. 8): un'installazione composta da sperimentazioni cromatografiche realizzate con campioni di terra, appartenenti a luoghi cari all'artista, uniti a modulazioni di frequenze sonore, terrestri e solari generate in base alla variazione cromatica e di forma delle cromatografie.

Nel percorso, guidato da parte di ricercatrici e ricercatori del Dipartimento e del CNR Istituto Nazionale di Ottica, queste opere si intersecano a illusioni ottiche dell'esposizione *Enlighting Mind* [2], video ed esperienze di laboratorio per mettere in luce i principi ottici e percettivi alla base delle stesse e delle opere di Olafur Eliasson in mostra a Palazzo Strozzi, nonché di celebri capolavori della pittura e dell'architettura.

Ad esempio l'effetto moiré di *Under the weather* è rapportato all'interferenza della luce, alla realizzazione di reticoli ottici e al loro uso come trappole ottiche per atomi e oggetti micrometrici. Manet e il bar alle Folies Bergères, per anni citato anche da Halliday e Resnick,

sul loro libro *"Fondamenti di fisica"* [5] all'inizio del capitolo sulla legge della riflessione, come un dipinto non realistico, ma che è stato invece dimostrato essere corretto in determinate condizioni. Oppure *Il ritratto dei coniugi Arnolfini* del pittore fiammingo Jan van Eyck in cui compare lo specchio convesso viene comparato con illusioni anamorfiche. *Lo stagno delle ninfee* di Claude Monet, fatto prima e dopo l'intervento di cataratta che, filtrando la luce blu, rende un'immagine diversa dei colori è associato alla percezione in *Room for one color* di Eliasson, mediante esperienze dirette nel laboratorio di percezione cromatica. Passando da El Greco, per spiegare che per certo non era astigmatico [6], fino ad arrivare all'interpretazione di Margareth Livingstone che il sorriso sfuggente della *Monnalisa* sia legato alla minor acuità visiva in visione periferica, unita alla maestria di Leonardo nel dipingere una immagine ibrida ante litteram [7–9]. Nel percorso si tocca anche l'architettura con il confronto fra l'illusoria abside del Bramante a San Satiro (Milano) [10] e lo spettacolare e ingannevole pannello prospettico tridimensionale presente in *Enlighting Mind* [2].

La luce rimane sempre al centro del dibattito fino ad arrivare al laboratorio dove si può visualizzare fino a che punto il colore cambi al variare dello spettro luminoso attraverso prove pratiche e immagini che appaiono e scompaiono se illuminate in modo diverso.

2.3 Fuorimosta al Mercato Centrale di Firenze

In occasione della mostra *Olafur Eliasson: Nel tuo tempo* [3] a Palazzo Strozzi gli Enti promotori del progetto e il Mercato Centrale di Firenze hanno avviato una collaborazione attraverso un ciclo di incontri negli spazi del Mercato, dove solitamente le persone si incontrano per assaggiare sapori tipici della cucina toscana e vini locali. Obiettivo di questo ciclo di conferenze è conoscere l'arte del visionario artista contemporaneo da diversi punti di vista, tra architettura, scienza e filosofia.

Gli appuntamenti creano un nuovo modo di esplorare la mostra e una nuova prospettiva sui contenuti del percorso espositivo. Oltre al rapporto di Eliasson con l'architettura del Palazzo rinascimentale, e alla relazione con le teorie sul colore del filosofo e scrittore Johann W. Goethe, si è parlato insieme a Massimo Gurioli di ricerca scientifica, di luce e di fenomeni ottici in occasione dell'incontro *L'arte di Olafur Eliasson tra scienza delle luce ed effetti ottici* organizzato il 14 dicembre 2022. La modalità di partecipazione, gratuita e libera fino a esaurimento posti, comprende un welcome drink che mette subito in luce la peculiarità del luogo e il suo potere di aggregazione.



Fig. 7 Elisa Leonini, *Landtrack*, 2015, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Firenze. Photo by Massimo Ali Mohammad.



Fig. 8 Elisa Leonini, *Orizzonte Vitale*, 2018, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Firenze. Photo by Massimo Ali Mohammad.

2.4 Enlighting Mind. Facciamo luce sul nostro sistema percettivo

Enlighting Mind [2] è il progetto da cui parte la mappa e la rete di esperienze. Promosso sempre dall'Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Corso di Studi in Ottica e Optometria e da Fondazione Idis Città della Scienza di Napoli, ma non solo, anche da due istituti del CNR, Istituto Nazionale di Ottica e Istituto di Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti. Maggiori dettagli nel [box 3](#).

Forme impossibili, anamorfosi, effetti 3D, sfondi e illusioni di contrasto, oggetti in movimento, figure bistabili: uno straordinario viaggio di disorientamento percettivo della realtà, nel mondo delle illusioni ottiche. "Illuminare la mente" è ciò a cui mira questa mostra, per scoprire come funziona il sistema visivo. Vedere e non solo guardare, perché non c'è niente di più reale di un'illusione.

Inaugurato in occasione della giornata internazionale della luce il 16 maggio 2021 è un percorso ibrido tra opere d'arte che parlano di luce e illusioni che si snoda attraverso i corridoi del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università degli Studi di Firenze. Maggiori dettagli all'interno del box 3.

Box 3

Enlighting Mind

Comitato scientifico:

Roberto Arrighi, Elisabetta Baldanzi, Alessandro Farini, Paolo Antonino Grasso, Massimo Gurioli, Antigone Marino, Giovanna Pacini

Progetto espositivo:

Fondazione IDIS - Città della Scienza ExiT _ Exhibition Team Carla Giusti, Maria Teresa Pica Ciamarra. Supporto grafico Angela Caianiello, Multimediali Adriano D'Angiò

Con opere di Gianni A. Sarcone, artista op-art ed esperto internazionale di percezione visiva. Honor Guest: Fabrizio Corneli Progetto realizzato grazie al contributo di CARbon nanoTube pHOTONic devices on silicon (Figura 8).

Perché inserire una mostra all'interno di un edificio accademico normalmente chiuso e inaccessibile al pubblico esterno? La risposta a questa domanda nasce dalla consapevolezza di vivere in un momento di profonda mutazione e dagli stimoli che hanno animato questo progetto trasversale. "Reinterpretare" e "contaminazione" sono le parole chiave. "Reinterpretare" gli ambienti di ricerca, renderli permeabili agli stimoli esterni, avviare dibattiti e confronti è uno degli obiettivi del progetto perché l'Università non ha solo la didattica come sua missione principale, ma anche la ricerca e la così detta terza missione. Entrare in luoghi sconosciuti e seguire una narrazione che accompagna fino ai laboratori è un'esperienza che fa conoscere e avvicina la società al mondo della ricerca in un percorso di arricchimento biunivoco che genera conoscenza. "Contaminare" perché solo dall'incontro nascono esperienze in grado di osservare i concetti da più prospettive.

Il percorso narrativo si sviluppa attraverso l'esposizione di illusioni ottiche, occasione preziosa per parlare di neuroscienze e di come funziona il sistema percettivo dell'essere umano. Prima fra tutte una consapevolezza: non parliamo d'inganno. Il termine "inganno" si associa spesso al termine errore, sbaglio, passo falso. In realtà le illusioni ottiche sono l'occasione per evidenziare il fatto che l'essere umano non sia una macchina. Un sensore ad un dato input elabora un determinato output. Il sistema visivo invece prende questo input e lo elabora tirando fuori un risultato che ci consente di vivere meglio. Se così non fosse non potremmo percepire la tridimensionalità degli oggetti, la prospettiva, non esisterebbe la costanza del colore e questi cambierebbero

continuamente nell'arco della giornata. Questo processo dettato dal sistema evolutivo e dalle esperienze quotidiane può essere messo in evidenza dalle illusioni ottiche che svelano dunque i limiti ma la potenza e le potenzialità della nostra mente.

Tra le illusioni sono presenti anche molte opere di Gianni Sarcone [12], artista op-art (di arte ottica), esperto internazionale di percezione visiva, autore di diversi libri e ricerche su questi temi.

Come si presenta Enlighting Mind. L'esperienza all'interno dei corridoi del Dipartimento segue un approccio modulare. Il primo impatto è con le opere d'arte e con le illusioni ottiche. Volutamente non sono stati inseriti pannelli esplicativi, didascalie e spiegazioni ([fig. 9](#)). L'opera va vissuta e ciascuno deve provare a dare la propria interpretazione. I temi sono suddivisi in aree tematiche – ottica, retina, visione, colore e percezione – rappresentate da apposite icone ben riconoscibili durante tutto il percorso. Per ogni opera un segno distintivo indica a quale percorso cognitivo può essere associata quella determinata illusione ottica. In aggiunta il QRcode consente ai visitatori interessati di trovare una spiegazione sul fenomeno associato a quella determinata illusione ottica e la bibliografia con articoli peer review per un ulteriore approfondimento.

2.5 iLight. Light sciences meet optical illusions

A completamento degli obiettivi della mostra e dell'inaugurazione, Nicoletta Granchi dell'Università degli Studi di Firenze ha organizzato un workshop internazionale e multidisciplinare dal titolo *iLight – Light sciences meet optical illusions*. Scopo dell'evento è stato quello di mettere a confronto giovani ricercatori operanti nelle tre discipline della fotonica, della scienza della visione e dell'optometria. Sono intervenuti a introdurre ciascuna sessione esperti di chiara fama come Dario Gerace dell'Università degli Studi di Pavia, Maria Luisa Martelli dell'Università degli Studi di Roma La Sapienza e Massimo Gurioli. L'evento è una delle iniziative vincitrici del bando congiunto SIF-SIOF dedicato alla Giornata Internazionale della Luce 2022 e si è tenuto il 24 maggio presso l'Aula Magna del Dipartimento di Fisica e Astronomia di Firenze.

2.6 Continuiamo a parlare. Webinar tematici

Chi non può venire a Firenze può comunque confrontarsi e approfondire gli argomenti proposti attraverso un ciclo di iniziative fruibili a distanza. A questo proposito è stato organizzato ad esempio da parte del Corso di Studi in Ottica e Optometria dell'Università degli Studi di Firenze il 1 luglio 2022 il webinar *Luce e Luce. Estetica e percezione* da parte di Fabrizio Corneli [11], artista e scultore di fama internazionale che opera con luce e ombre. Ha esposto a Parigi, Roma, Milano, Napoli, USA, Giappone, Taiwan, Emirati Arabi, Tapei, Traunstein, Doha, etc. e ha installazioni permanenti in varie parti del mondo.

Le opere *Dioscuri chiari e Halo* ([fig. 10](#)) sono state inserite all'interno del percorso espositivo di *Enlighting Mind* [3] nei mesi da maggio a settembre 2022. Corneli ha parlato di alcuni esempi d'installazioni e opere d'arte inerenti alla luce e alla percezione visiva di artisti dalla seconda metà del novecento ai nostri giorni.

Il calendario dei webinar, rivolto alla comunità scientifica ma non solo, anche a scuole e a tutte le persone interessate, ha visto 14 appuntamenti nel 2022 che hanno coinvolto anche ricercatrici e ricercatori di varie discipline (fisica, psicologia, informatica, oculistica, design) oltre che professioniste e professionisti che operano nel settore ottico e optometrico. Il programma include altri 12 eventi e prosegue fino a maggio 2023 [13].

3 Alcuni numeri

La mostra a Palazzo Strozzi *Olafur Eliasson: Nel tuo tempo*, esposta a Palazzo Strozzi dal 22 settembre 2022 fino al 22 gennaio 2023 [3], è stata vista da circa 163 000 persone. In un primo tempo sono state programmate 4 visite per il progetto *Effetto moiré*, e le prenotazioni hanno esaurito tutti i posti disponibili (25 per ciascuna visita) in pochi



Fig. 9 *Enlightening Mind*, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Firenze.



Fig. 10 a) Fabrizio Corneli, *Dioscuri chiari*, 2005, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Firenze. b) Fabrizio Corneli, *Halo*, 2019, Dipartimento di Fisica e Astronomia, Firenze.

giorni. Per questo le date proposte sono state raddoppiate e sono diventate 8 per il pubblico esterno a cui si aggiungono anche altre 7 date tra cui 4 pensate appositamente per gli studenti del Corso di studio in Ottica e Optometria e in Fisica del Dipartimento e 4 per le scuole superiori di secondo grado. *Enlightening Art* era inizialmente programmato in 1 unico appuntamento ma anche in questo caso, visto l'overbooking, le date sono state aumentate, con 5 incontri per far fronte alla lista di attesa. *Enlightening Mind* [2] è oggetto continuo di visite da parte del personale del dipartimento, ospiti, scuole e studenti di ogni ordine e grado che si sviluppano anche in progetti congiunti in PCTO, i quali nel presente anno accademico includono e coinvolgono oltre 300 studenti e una trentina di scuole.

4 Conclusione e prospettive future

Le iniziative programmate hanno riscosso un sorprendente successo di pubblico, sia in termini quantitativi sia per i feedback ricevuti. La chiave di lettura di questa entusiasmante risposta risiede probabilmente nella modalità di presentazione dei contenuti e nel fatto di associare nuovi punti di vista e suggerimenti di percorsi all'interno di vie conosciute.

Interessante è il fatto di vedere che persone abituate a entrare a Palazzo Strozzi per visitare la mostra si siano trovate davanti a linguaggi e argomenti nuovi così come accompagnare, in alcuni casi per la prima volta, gli studenti dei corsi del Dipartimento di Fisica e Astronomia all'interno di un palazzo tanto famoso quanto per loro inesplorato e poco conosciuto. La risposta è stata di grande interesse da entrambi i fronti. I visitatori abituali della mostra sono spesso tornati con nuove persone con cui voler condividere l'esperienza e si sono portati a casa gelosamente i kit per esperimenti distribuiti con la promessa che avrebbero provato a riprodurre tutti gli effetti discussi. Dall'altro lato gli studenti a fine percorso invece di dirigersi verso l'uscita sono per la maggior parte tornati indietro nelle sale per rivedere le opere e fare scatti e storie diffuse a seguire attraverso i propri canali social.

Proprio i canali social, sia istituzionali che personali, hanno dato molta visibilità a questa esperienza per le sue caratteristiche strutturali e per la bellezza, una bellezza che toglie il fiato, ricca di colori, ombre e luce che in alcuni casi risultavano ancor più efficaci se fotografati e comunque diversi, proprio a sottolineare quanto lontani siano tra loro gli strumenti meccanici e il nostro sistema percettivo.

L'obiettivo del progetto e del gruppo di lavoro coinvolto è quello di continuare la "contaminazione" di lasciarsi trasportare in velocità verso

nuovi confronti senza limiti geografici e di confini. "Network" è un'altra delle parole chiave che vorremmo utilizzare. Estendere le collaborazioni avviate nell'ottica dei sistemi complessi, dove la somma delle singole iniziative consente di costituire nuovi elementi dalle proprietà inaspettate. Estendere i format di presentazione delle esperienze, i temi, il caleidoscopio di esperienze in modo da raggiungere una community sempre più ampia come anche le aree geografiche da raggiungere volando verso nuove insospettabili sedi.

Tornando alla riflessione e alle domande iniziali, c'è anche un'altra possibile interpretazione. In entrambi i casi le esperienze espositive non si esauriscono negli argomenti proposti ma al contrario generano nuova

curiosità e voglia di esplorare. In linea con il pensiero di Edgar Morin e delle scuole di arte contemporanea, l'obiettivo dei progetti in corso non è fornire risposte ma stimolare nuove domande suscitando emozioni in grado di spingerci lontani dalla costa verso nuovi orizzonti inesplorati.

Così come accade nelle procedure di laboratorio vorremmo invitare tutte e tutti a elaborare ipotesi su cui confrontarsi, a progettare teorie, a sbagliare e a riprovare in un virtuoso processo costruttivo di crescita continua. Perché come dice Enrico Fermi: *"Ci sono soltanto due possibili conclusioni. Se il risultato conferma le ipotesi, allora hai appena fatto una misura, se il risultato è contrario alle ipotesi, allora hai fatto una scoperta"*.

Bibliografia

- [1] A. Baricco *"I barbari"* (Giangiacomo Feltrinelli Editore, Milano) 2006.
- [2] M. Gurioli, SIF Prima Pagina, N. 102 - Giugno 2022.
- [3] A. Galansino (a cura di), *"Olafur Eliasson. Nel tuo tempo"* (Marsilio) 2022.
- [4] R. P. Feynman, *"Il piacere di scoprire"* (Adelphi) 1999.
- [5] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *"Fondamenti di fisica"* (Casa Editrice Ambrosiana) 2015.
- [6] L. Maffei, A. Fiorentini, *"Arte e cervello"* (Saggi Zanichelli) seconda edizione, 2008.
- [7] D. Y. Tsao, M. S. Livingstone, *"Mechanisms of face perception"*, *Annu. Rev. Neurosci.*, 31 (2008) 411.
- [8] C. Libedinsky, T. Savage, M. Livingstone, *"Perceptual and physiological evidence for a role for early visual areas in motion-induced blindness"*, *J. Vision*, 9 (2009) 1.
- [9] D. Y. Tsao, W. A. Freiwald, R. B. H. Tootell, M. S. Livingstone, *"A cortical region consisting entirely of face cells"*, *Science*, 311 (2006) 670.
- [10] *"Bramante architetto e pittore (1444-1514)"*, (Caracol) 2009.
- [11] *"Fabrizio Corneli"*, di Marco Meneguzzo (Skira) 2016.
- [12] G. A. Sarcone, M. J. Waeber, *"Illusioni ottiche"* (Armenia) 2018.
- [13] Webinar del Corso di Studi in Ottica e Optometria dell'Università degli Studi di Firenze <https://www.ottica.unifi.it/vp-155-webinars-light-on-optic-and-optometry-2022-2023.html>



Elisabetta Baldanzi

Fisica dell'Istituto Nazionale di Ottica del Consiglio Nazionale delle Ricerche a Firenze e docente dell'Università degli studi di Firenze, Corso di Laurea in Ottica e Optometria su temi di fisica e psicofisica della visione. Responsabile per la comunicazione del CNR-INO coordina e segue progetti per diffondere la cultura scientifica e i risultati della ricerca in collaborazione con enti e istituzioni a livello nazionale e internazionale. Premio 2015 per la comunicazione scientifica della SIF è membro del consiglio scientifico del Festival della Scienza di Genova e di comitati tecnico scientifici per l'outreach.



Costanza Toninelli

Classe 1979, Costanza studia tra Firenze, Parigi e Zurigo, diventa ricercatrice per l'Istituto Nazionale di Ottica e capogruppo al LENS nel 2012. Il suo principale soggetto di ricerca è il controllo dell'interazione luce-materia attraverso l'accoppiamento di singoli emettitori quantistici a strutture fotoniche. Nel suo laboratorio isola singole molecole, in grado di emettere un solo fotone alla volta, e le loro proprietà quantistiche.



Alessandro Farini

Fisico laureato presso l'Università degli Studi di Firenze dove ha conseguito anche la specializzazione in Ottica. È il responsabile del laboratorio ViOLa (Visual Optics Lab) presso l'Istituto Nazionale di Ottica del CNR. È docente di ottica geometrica, ottica fisica e colorimetria e percezione del colore presso il Corso di Laurea in Ottica e Optometria dell'Università degli Studi di Firenze.



Massimo Gurioli

Professore di fisica della materia all'Università di Firenze, ha una lunga esperienza su diversi temi di ricerca: dall'ottica quantistica alle nanostrutture a semiconduttore, dalla fotonica alla spettroscopia in campo vicino. Nel luglio del 2020 è stato eletto Presidente del Corso di Studi in Ottica e Optometria. Poco dopo ha deciso di spostare la sua attività di ricerca nei campi della fisica applicata connessi alla visione umana e all'optometria.

TRUSTWORTHINESS AND ETHICS IN DATA ANALYSIS: THE PHYSICISTS APPROACH TO AI IN MEDICINE

ANDREA CHINCARINI

INFN - Sezione di Genova, Genoa, Italy

Trustworthiness and ethics in data analysis are key to the use of Artificial Intelligence (AI) in medicine. Physicists have developed a unique approach to ensure these considerations are taken into account when implementing AI into medical research. This approach involves blending consolidated and cutting-edge techniques into a clear, concise information display that is understandable by the intended users, which are involved as active, critical elements instead of trying to replace the human component and expertise with a software.

1 Data analysis in modern medicine

Evidence-based medicine is becoming an increasingly important part of modern healthcare, with data-oriented approaches replacing tradition- and anecdote-based methods. By analyzing large amounts of patient data, doctors and researchers are able to make more informed decisions about the best way to treat patients. This shift towards evidence-based care has already led to improved outcomes and reduced costs in many cases. These data analysis practices today fall under the umbrella term “Artificial Intelligence” (AI), a term so important that it is now commonly used to describe all types of data-driven analyses that may affect patient management. Analysis can be statistical in nature and can be performed using both classical and deep machine learning techniques.

Nowadays AI in healthcare is already used to determine patients' status, assess CT¹ or MRI² scans, or identify high-risk populations for population health. The AI industry is estimated to tap into a market share worth several billions euros and the last 10 years have seen an impressive number of scientific studies and investments in this field. Image analysis is one of the most prominent uses of AI and there are now several researches and growing businesses based on it. However, although artificial intelligence is proven to be valuable in various areas such as healthcare, it cannot always be trusted. Many are the risks associated with implementing AI into sensitive areas such as automatic diagnosis, where incorrect calculations could lead to serious health complications for patients. In other words, caution is still necessary when using AI in medicine. As a result of experience, batch effects (a synonym of the characteristics, quality and sample

¹ A CT (Computed Tomography) scan is a medical imaging technique that uses X-rays to produce detailed cross-sectional images of the body. The images produced by a CT scan are similar to those produced by a traditional X-ray, but are much more detailed and provide a much clearer view of the internal structures of the body. CT scans are commonly used to diagnose conditions such as tumors, blood clots, and internal injuries, and can also be used to guide certain types of medical procedures, such as biopsies. During a CT scan, the patient lies on a table that is moved through a doughnut-shaped machine that takes a series of X-ray images. These images are then used to construct detailed 3D images of the inside of the body. CT scans are relatively quick and painless, and are often used as an alternative to more invasive procedures such as surgery.

² An MRI (Magnetic Resonance Imaging) scan is a medical imaging technique that uses a magnetic field and radio waves to produce detailed images of the inside of the body. Unlike X-ray or CT scans, MRI does not use ionizing radiation, making it a safer option for certain types of imaging. MRI is highly sensitive to the different types of tissue in the body, making it particularly useful for imaging soft tissues such as the brain, muscles, and internal organs. During an MRI scan, the patient lies on a table that is moved into a large cylindrical machine that generates a strong magnetic field. The machine also sends and receives radio waves, which are used to create detailed images of the inside of the body.

a cura di S. Falciano e C. Spinella

selection typical of a clinical center or scanner manufacturer) and acquisition protocol issues are still open challenges that can be difficult to overcome when attempting to use AI in automatic diagnosis.

2 Nuclear Medicine neuroimaging

Nuclear Medicine (NM) is a branch of medicine that uses radiation to diagnose and treat disease. Nuclear medicine is used in a wide range of diseases, including cancer, heart disease, and neurological disorders. It is also applied to image the body's internal organs and to assess the effectiveness of treatments. One of the key features is the ability to tag a chemical compound with a radioactive isotope, which is then injected in the patient. Scanners are sensitive to gamma rays emitted by the decaying isotope and translates the compound spatial concentration in the body into a 3D image, which is then interpreted by the physician.

There is a large variety of chemical compounds as well as isotopes, and many more are being engineered. Each compound can be tailored to mark a specific biochemical process, so that NM imaging can assess *in vivo* dynamics of virtually all biological mechanisms.

PET (Positron Emission Tomography) and SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) are both NM imaging techniques used to produce detailed images of the inside of the body. The main difference between the two is the type of radiation exploited to create the images. PET uses positrons, which are particles with the same mass as electrons but with a positive charge, while SPECT uses gamma rays. Because of this difference, the images produced by the two techniques also have some key characteristics. PET images tend to have higher spatial resolution and more detailed anatomic information, while SPECT images are better at showing functional information, such as blood flow or metabolic activity.

When applied to brain imaging, NM scans are the key to understanding brain functions, aging and various disease processes, particularly those which are characterized by a molecular signature. Under this category there is the large family of neurodegenerative diseases (*i.e.* Alzheimer's disease, Parkinson's disease and all motor and dementia-type progressive diseases), and it is no surprise that nowadays these are diagnosed and characterized by NM neuroimaging.

This requires not only a comprehensive understanding of the data and the techniques used for analysis but also the capability to translate complex technical concepts into clear and actionable insights for the physicians. Our proficiency in data analysis has enabled us to develop a clear and efficient approach to data analysis that caters to the needs of nuclear medicine physicians and we are continuously striving to enhance our approach and deliver more accurate and actionable results to them.

By utilizing our extensive experience in data analysis, we have come to understand the importance of both intricate analysis and accessible results for nuclear medicine physicians. We acknowledge that providing thorough and precise analysis is not enough, it is also vital to present the results in a way that is easily understood and acted upon by the physicians. Striking the perfect balance between the intricacy of the

analysis and the simplicity of the results is crucial for nuclear medicine physicians to be able to understand and utilize the data effectively.

3 A multifaceted, independent approach

A key to precision in physics often results from the possibility of repeating measurements and exploiting statistical errors' independence. We apply this basic concept of statistics to medical data analysis, but with a twist. In other words, rather than relying only on one method, we implement at least three approaches for every analysis and score them against normative data.

Studies have shown that there is a sizable portion of cases, especially those that are considered borderline by clinicians, that can be misdiagnosed by a single clinician, even one who is highly experienced. This has led our team to develop a comprehensive, automated analysis process that utilizes both AI and non-AI algorithms in order to achieve more accurate results.

This framework consists of:

- at least one standard, non-AI analysis method based on solid clinical evidence and rooted in the consolidated practice;
- a fully data-driven approach using AI, radiomics and sophisticated algorithms;
- an algorithm that encapsulates clinical or physiological models as part of the analysis.

The model is then validated on a multi-center dataset, which contains approximately a thousand clinically validated cases. This provides the necessary normative data to contrast the new case and ensures that the model's performance is consistent across different centers and populations. By using a multi-center dataset, we are able to evaluate the model's performance in a real-world setting and ensure that it is generalizable to a wide range of patients. Additionally, using clinically validated cases in the validation dataset allows us to be confident that the model's output is in agreement with the ground truth and thus has a high level of accuracy. The software is engineered so that new cases are constantly uploaded and can be validated *a posteriori* by a set of expert clinicians in a consensus round. This allows the model to continuously learn and improve its performance over time. This validation process is essential to ensure that the model is reliable and can be used to make important medical decisions.

Finally, these analysis steps are combined into a comprehensive model and graphical representation to ensure that any conclusion is robust, trustworthy, and ethical.

We physicists often remind ourselves that "When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it". By introducing this physics approach to AI in medicine, we strive to bridge the gap between traditional and modern methods. This allows us to create a powerful and more complete picture of a patient's condition while maintaining professional integrity. We are convinced that by using this framework we can provide more accurate, reliable and meaningful results for our patients.



The key ingredient is to use the algorithm not to deliver a definite answer in terms of patient condition or disease probability, but to provide robust and reliable quantification.

Quantification is the mean to leverage standard and more sophisticated AI-driven approaches without overstepping the boundary between the clinician expertise and his/her duty to interpret and deliver the diagnosis:

- quantification enables practitioners to visualize and measure data more accurately, allowing for greater precision in diagnosis and treatment decisions;
- it allows physicians to identify subtle differences between healthy and unhealthy tissue, leading to better disease management and earlier intervention;
- it can help reduce radiation exposure by enabling doctors to limit the amount of time they spend performing scans;
- with quantification, it is possible to track changes over time, making long-term monitoring easier;
- quantification also facilitates patient education about their condition and helps improve communication between healthcare providers and patients.

The use of more than one analysis tool is actually more important when the quantification methods disagree than when they agree. In fact, since each quantification method is based on its own independent approach, the disagreement is a significant indication of analysis issues such as: data quality, patient peculiar anatomy or a non-standard presentation of the disease pattern. By using multiple analysis tools, we are able to cross-reference the results and identify any discrepancies, which can then be investigated and resolved. This approach allows us to improve the accuracy and reliability of our analysis, and ultimately leads to better patient outcomes. Furthermore, the use of multiple analysis tools also helps us to identify and account for any potential biases or limitations in a single analysis method, and by comparing the results, it allows us to have a more complete understanding of the patient's condition and make more informed decisions.

Therefore we are not competing with mainstream algorithms and robots that showcase AI-based algorithms to replace human physicians, but rather rely on interactions between algorithms and clinicians. We want to engage humans with layers of additional information, which are both informative and reassuring at the same time. The goal is to improve the clinician's knowledge and confidence, which helps him/her to perform better in the future.

4 Data flow

Hence, we decided to structure an analysis based on a three-tiered client-server (hub-cloud) approach, where the client is a lightweight, platform-independent and modern software installed on the clinician's hardware, and the server side is primarily a collection of cloud-based services orchestrated by a central hub. The client handles user identification, data input, management, and result display. Additionally, it has the duty of anonymizing and encrypting medical data.

An expert in medical research (a doctor or professional in general HCP, healthcare professional) who uses the platform in a hospital undertakes a simple and intuitive process to access the analysis. The clinician authenticates on the platform and updates the consent from the patient undergoing the clinical examination for the processing of research data, confirming the acquisition within the client.

The clinician then selects the examination (analysis module), which determines the processing method. The exam imaging data consists of a DICOM format³, as well as the technical and sensitive information related to the exam. These pieces of information are selected, verified, and converted with encryption before being uploaded. However DICOM is unsuitable for privacy reasons because – although it does offer security measures – the data stored in DICOM files can be seen by anyone with access to the file. Furthermore, if the file gets hacked or falls into the wrong hands, all of the patients' personal and medical information would be exposed, putting their privacy at risk.

Therefore the DICOM file format is pseudonymized and converted to NIFTI by using a 256-bit public-private key system. NIFTI is a secure file format for medical images which protects the patient's personal data. It ensures that any sensitive information is not accessible even if the file is hacked or falls into the wrong hands. NIFTI is more compact than DICOM, easy to understand and used by all modern analysis softwares.

The client then streams the data package to the server, which starts the needed calculation and triggers the cloud services that are fed with anonymized data only. The results are then collected and streamed back to the clients, which decrypts the information and displays the results in clear text.

By processing the data in the selected analysis module, the algorithm makes comparisons with standard databases (*i.e.* validated clinical results and retrospective analyses), as well as using specific calculation methods for the various types of exams.

The central hub organizes accounting operations (authentication, number, and type of processing required by users or sites) and manages a backup database of processed results and encrypted meta-data to provide disaster-recovery services.

In addition to accessing the unencrypted result, the client also provides clear visual statistics relevant to each examination so one can easily understand the data. Results are stored both on the user's workstation and in a local database (also encrypted) and can be

³ DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) is the standard file format for medical data, allowing information to be exchanged between different devices used by healthcare professionals. DICOM files are easy to use, secure, and compatible with all types of imaging equipment like X-rays and MRIs. This ensures that a clinician can access a patient's medical data from anywhere and at any time. Additionally, due to its security measures, it keeps sensitive information safe while being transferred between different healthcare facilities. The structured format of DICOM also makes it easier to store and process patient data accurately, which helps clinicians make more informed decisions when diagnosing illnesses.

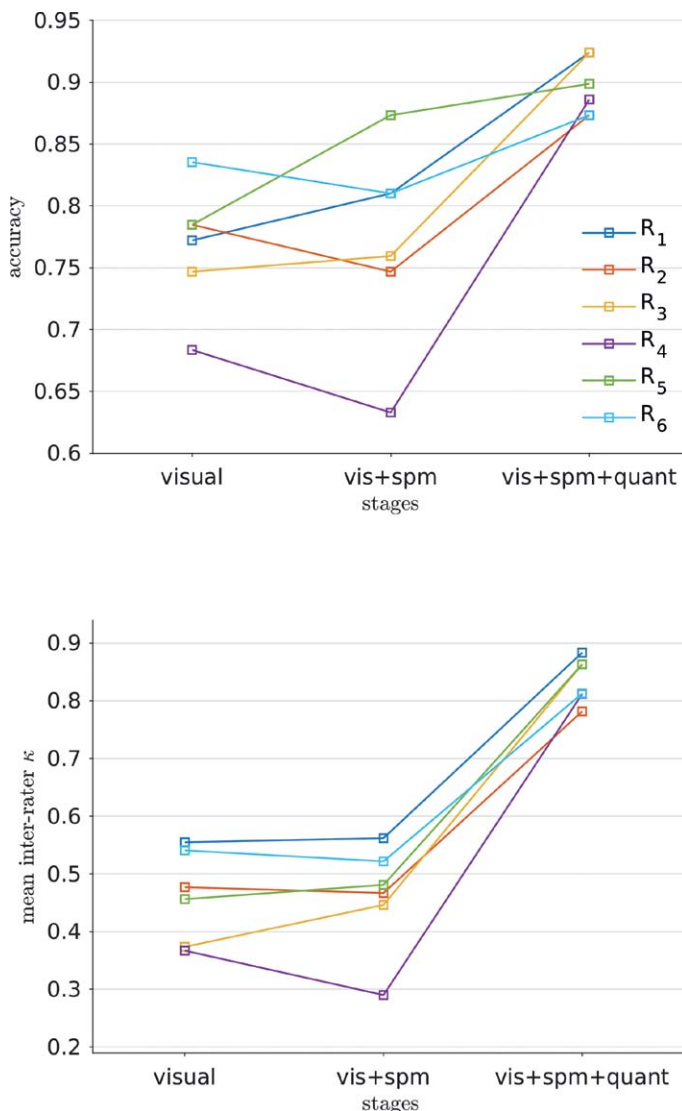


Fig. 1 The figure illustrates the accuracy and the inter-rater agreement of six expert clinicians (R_1 – R_6) in the differential assessment of 100 FDG-PET cases, which have been confirmed with a diagnosis of MCI-LB or MCI-AD. The accuracy and agreement (measured with the Cohen's κ) of each individual clinician is plotted with respect to three different diagnostic settings: "visual" where the PET data is presented as acquired, and the standard visual assessment is performed; "vis+spm" where the PET data is presented together with a consolidated semi-quantification algorithm; and "vis+spm+quant" where the PET data and semi-quantification are complemented with a third machine learning-based method, and a comprehensive analysis is presented to the clinician. The added information and its synthesis not only improves the accuracy of the single clinician with respect to the true diagnosis, but it also delivers a much higher intra-rater agreement.

printed or exported in pdf and xlsx format.

We have taken great care to ensure the privacy of all users. Adherence to GDPR regulations is paramount, and all data sets are encrypted both in transit and at rest. We have also implemented a system of audit logs which track all data access and processing requests and provide a clear audit trail. Our protocol is designed to ensure the highest level of data security, thereby protecting our clients' sensitive information.

5 Use cases

At the time of this writing, our team has implemented four analysis pipelines, two of which are related to PET imaging. This includes the analysis of FDG PET for neurodegeneration, which is a powerful tool for detecting, diagnosing, and monitoring diseases such as Alzheimer's Disease and other forms of dementia.

FDG PET is a tool used to examine brain metabolism. It involves injecting a special sugar called Fluorodeoxyglucose (FDG) into the bloodstream, and then using a scanner to track how it is metabolized in the brain. This allows doctors to detect changes that may indicate diseases like Alzheimer's or dementia. By understanding brain metabolism, they can diagnose illnesses faster and more accurately. We developed an innovative way to track and quantify the amount of glucose uptake in certain regions of the brain which can be used to monitor changes over time. Additionally, we have developed a specialized imaging pipeline that allows us to measure cortical thickness, white matter integrity, and cerebral perfusion.

In this first example (see fig. 1), we assessed the diagnostic accuracy of visual assessment of FDG-PET scans in distinguishing between two groups of patients: those with prodromal Alzheimer's Disease (MCI-AD) and those with mild cognitive impairment due to dementia with Lewy bodies (MCI-DLB). The study used six expert readers who were blind to the diagnosis. The readers were provided with maps obtained by univariate single-subject voxel-based analysis (VBA) and individual odds ratio (OR) plots obtained by the volumetric regions of interest (VROI) semiquantitative analysis. The results showed that the mean diagnostic accuracy of visual assessment was 76.8%, and it did not significantly benefit from adding the univariate VBA map reading (77.4%). However, the VROI-derived OR plot reading significantly increased both accuracy (89.7%) and inter-rater reliability. The conclusion was that conventional visual reading of FDG-PET is moderately accurate in distinguishing between MCI-DLB and MCI-AD, and it is not significantly improved by univariate single-subject VBA but by a VROI analysis built on macro-regions, allowing for high accuracy independent of reader skills. The accuracy of FDG-PET at the individual level in MCI-LB versus MCI-AD has been significantly improved with a stepwise approach: from visual to semi-quantitative analysis. Our team has successfully implemented this approach and seen a dramatic accuracy increase with respect to follow-up clinical end points. This accuracy increase was achieved through a decrease in manual labor, improved accuracy in pattern recognition, and the efficient integration of multiple algorithms. This evidence suggests that our system is capable of performing nuclear medicine neuroimaging

quantification with greater accuracy than ever before seen.

In the same disease context, our team has successfully implemented an amyloid PET imaging pipeline for neurodegeneration to quantify the brain amyloid load in patients with Alzheimer's Disease or other forms of dementia. This technology can also be used to monitor the efficacy of drug treatments over time, and our team is able to provide accurate and reliable quantification for these types of tests. Additionally, we have integrated an AI-based system for automated quantification of PET scans, which can help reduce the burden of manual interpretation and increase accuracy and reliability. This system is able to detect patterns and identify areas of interest that would have otherwise been difficult to spot manually, resulting in more accurate and reliable results. In [fig. 2](#), we show a typical case of a negative, borderline and positive brain amyloid burden. These are the kind of images that are processed by the amyloid-PET pipeline to deliver regional and whole-brain quantification of the amyloid protein accumulation in the brain.

Besides nuclear imaging analysis, MRI scans are used to study the medial temporal lobe atrophy, which is essential for the medical evaluation of neurological diseases and for differentiating between them. In [fig. 3](#) we show the saliency map superimposed on the MRI reference atlas. The map is the outcome of a radiomics and machine learning algorithm that translates and rates the subtle intensity information in the subject MRI into an atrophy index, which directly relates to the probability of developing an AD-type dementia.

Our team is also experienced in using nuclear imaging analysis to study the progression of Parkinson's Disease. We have successfully implemented a scan pipeline that can quantify dopamine transporter densities in patients with Parkinsonian syndromes. This helps measure disease severity and track treatment efficacy over time. Per design, we have integrated multiple algorithms (both AI and non-AI based) for quantification, which reduces manual interpretation and improves accuracy and reliability. Our system is capable of detecting patterns and identifying areas of interest more efficiently than traditional methods, as well as more robustly than any single AI algorithm.

Our software provides a tailored experience for clinicians that combines the best of both worlds – human insight and quantification. In addition, we can improve on the clinician experience by providing validated examples nearest to the case under study. This offers up-to-date information that is not only accurate but it also safeguards against misreading or misinterpretation, which can lead to medical errors. Using both standard and machine learning techniques, we can better detect small deviations in neurological diseases, as well as monitor how they progress.

As we continue to develop the system, we plan to add new analyses and features that will open up specific opportunities for neuro-oncology and other brain diseases. This will give us a more holistic approach to neuroimaging quantification, allowing us to better understand the progression of neurological diseases and to create more effective treatments. Ultimately, our goal is to create a comprehensive system that can reliably quantify neurological diseases and provide valuable insights into the progression of these diseases.

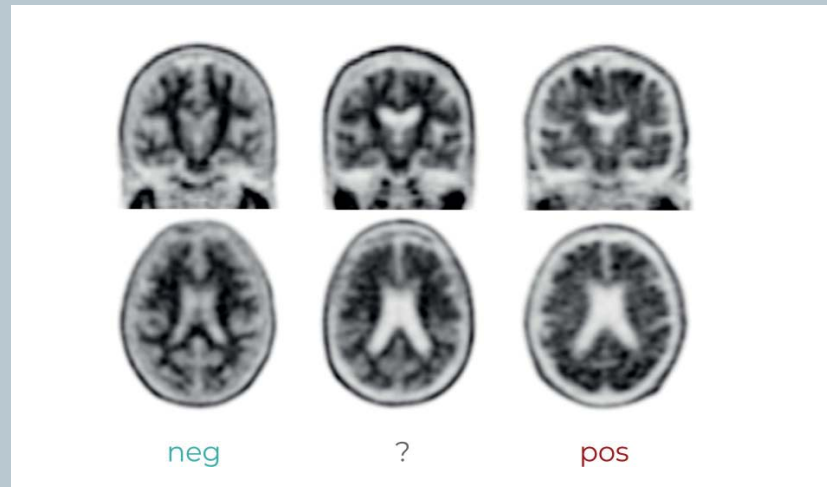


Fig. 2 The figure presents coronal (top row) and axial (bottom row) cross-sections of amyloid-PET scans. The leftmost and rightmost images depict typical negative and positive examples, respectively. The subject in the middle, however, has a less clear classification, and represents a borderline case. In such cases, the pattern of amyloid accumulation, in conjunction with patient metadata, is crucial in determining the correct classification and the risk of developing pathological brain amyloidosis in the future.

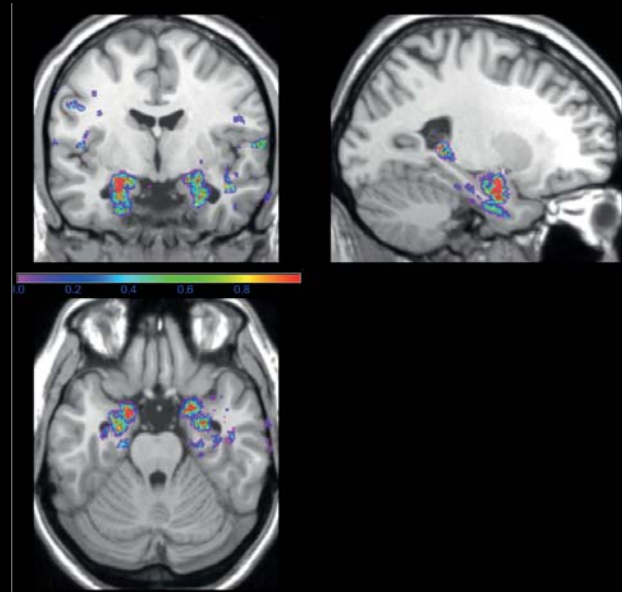


Fig. 3 The figure illustrates coronal, sagittal and axial cross-sections of a template MRI scan, specifically, the Montreal Neurological Institute template. Superimposed in color, is a saliency map of the most relevant voxels responsible for the classification of AD versus Control subjects. The map is the outcome of a radiomic analysis combined with Machine-Learning classifiers, which were trained on hundreds of research MRI from the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. Anatomically, the most relevant region is the hippocampus, a site closely linked to the spatial and memory functions of the brain.

6 Ethics and human-AI interaction

As a team of physicists with expertise in medical imaging, we recognize the importance of ethics and trustworthiness when conducting data analysis. We understand that algorithms are only as reliable as the data and assumptions that generate them. While we strive to ensure that the AI algorithms we use are based on sound and reliable data, with transparent and verifiable parameters, human-AI interaction must be carefully and ethically monitored.

One of the main advantages is the ability to combine the strengths of both humans and AI. While AI can process large amounts of data quickly and accurately, humans have the ability to understand context and make judgments based on experience and intuition. By working together, human radiologists and AI can improve the accuracy and speed of medical images analysis. Additionally, the use of AI can help to reduce the workload of radiologists and allow them to focus on the most complex cases. This can lead to improved productivity and efficiency in the diagnostic process. Another advantage of human-AI interaction is the ability to detect patterns or anomalies in medical images that might be missed by either humans or AI alone. This can lead to earlier and more accurate diagnosis, ultimately leading to better patient outcomes.

Balancing software and human supervision is particularly important in the context of medical images. It provides greater accuracy in data analysis as a result of both AI algorithms and manual checks being used to ensure reliability and transparency. It helps foster trustworthiness among users by allowing them to know that their data is secure and free from bias or manipulation and it allows for better understanding of complex systems, since the combination of human insight and AI algorithms can provide deeper insights into disease progression and effective treatments.

While our system is able to detect patterns and quantify biomarkers more quickly and

accurately than manual methods, it is important to keep the clinician as part of the equation.

Replacing a clinician with a software in the context of medical image analysis would not be a good idea for several reasons.

First, medical image analysis is a complex task that requires not only technical expertise, but also medical knowledge and clinical judgment. A software, no matter how advanced, cannot fully replicate the expertise and intuition that a clinician brings to the diagnostic process.

Second, medical images are often used to make critical decisions regarding patient care, and a software, no matter how accurate, can never replace the human touch that a clinician provides.

Third, the use of software alone can lead to over-reliance on the technology and the potential for missed or incorrect diagnoses. This can ultimately lead to negative consequences for patients and the healthcare system.

Lastly, the use of AI-based software in medical imaging is still in the early stages and it is not yet clear how well these systems will perform in practice, and how well they will be able to provide accurate results, especially in cases where the images are not clear or have abnormalities that are not common.

In conclusion, while AI-based software can be a valuable tool in the diagnostic process, it should be used in conjunction with, not in place of, a qualified clinician. This can lead to the best outcomes for patients.

We want to provide clinicians with a tool that can help them make better and faster decisions. With this in mind, our nuclear imaging quantification system is designed to be easy to use with minimal training required. Furthermore, it is constantly updated to ensure reliability and accuracy, while also incorporating the latest advancements in AI technology.



Andrea Chincarini

Andrea Chincarini is a senior staff researcher at the Istituto Nazionale di Fisica Nucleare in Genoa, Italy. He is also professor of "Gravitational Waves" in the Physics Department of the University of Genoa. With over 20 years of experience in research, his main activities include modeling, data analysis and leading research initiatives. He has worked as a surface analysis scientist and research grantee in the past. He has also held several positions such as National Scientific Commission Coordinator, Principal Investigator and Group leader. He has been involved in several research initiatives in EU and national projects, and is a member of editorial boards and several research institutions.

INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS “ENRICO FERMI”



Società Italiana
di Fisica

SUMMER COURSES 2023

VILLA MONASTERO, VARENNA, LAKE COMO



Course 212

NEUTRINO PHYSICS, ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY in collaboration with the International School in AstroParticle Physics (ISAPP)

<https://isapp2023.mi.infn.it>

27 June - 6 July 2023

Directors

Gianpaolo BELLINI - Università di Milano e INFN (Italy)
Gioacchino RANUCCI - Università di Milano e INFN (Italy)
Marco BERSANELLI - Università di Milano e INFN (Italy)

Scientific Secretary

Lino MIRAMONTI - Università di Milano e INFN (Italy)

Topics

Preschool:

Basics on particle physics, Basics on cosmology, Basics of stellar evolution

School:

Neutrino physics

Neutrino and its properties, Neutrino-less double beta decay, Neutrino oscillation,
Neutrino mass determination, Neutrino nucleus interactions, Geoneutrinos

Neutrino astrophysics

Solar, stellar and supernova neutrinos, Neutrinos from the violent universe,
High-energy cosmic neutrinos

Neutrino cosmology

The role of the neutrinos in the LCDM, Large-scale structures and neutrinos, Cosmic
Microwave Background and neutrinos, Neutrinos and the very early universe

Lecturers

Nicola Bartolo - Università di Padova (Italy)
Enzo Franco Branchini - Università di Roma 3 (Italy)
Alessandro Bressan - SISSA Trieste (Italy)
Aldo Ianni - INFN LNGS L'Aquila (Italy)
Hans-Thomas Janka - TUM München (Germany)
Aleksei Lokhov - Karlsruhe Institute of Technology (Germany)
Eligio Lisi - Università di Bari (Italy)
Antonio Masiero - Università di Padova and INFN (Italy)
Paolo Natoli - Università di Ferrara (Italy)
Marco Pallavicini - Università di Genova and INFN (Italy)
Ezio Previtali - INFN LNGS L'Aquila (Italy)
Elisa Resconi - TUM München (Germany)
Kate Scholberg - Duke University Durham (USA)
Douglas Scott - University of British Columbia Vancouver (Canada)
Matteo Viel - SISSA Trieste (Italy)

GENERAL INFORMATION and APPLICATION FORM: https://www.sif.it/corsi/scuola_fermi/2023



Joint EPS-SIF INTERNATIONAL SCHOOL ON ENERGY

VILLA MONASTERO, VARENNA, LAKE COMO (ITALY)

COURSE 7

GLOBAL CHALLENGES FOR ENERGY SUSTAINABILITY

17 - 22 July 2023

Directors

Luisa CIFARELLI - Università di Bologna (Italy)

Francesco ROMANELLI - Università di Roma Tor Vergata (Italy)

Scientific Secretary

Neelima AGRAWAL - Università di Bologna (Italy)

Scientific Committee

Angela Bracco - Università di Milano (Italy)

Luisa Cifarelli - Università di Bologna (Italy)

Jozef Ongena - Ecole Royale Militaire, Brussels (Belgium)

Francesco Romanelli - Università di Roma Tor Vergata (Italy)

Petra Rudolf - University of Groningen (The Netherlands)

Friedrich Wagner - Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Greifswald (Germany)

Topics

Introduction on energy; Energy situation and perspective after the war in Ukraine; Energy and atmosphere; Materials for energy availability; Materials for energy technology – Photovoltaics; Solar energy; CO₂ and methane issues; Fuel cells/Hydrogen; Electrochemical storage systems; Energy networks; Smart cities; Nuclear basics; Fission; New generation reactors; Inertial confinement fusion; Magnetic confinement fusion/DEMO; Wind; Bioenergy; Radioactive waste management

Lecturers

Rangan Banerjee - Indian Institute of Technology, Dehli (India)

Dimitri Batani - Université de Bordeaux (France)

Shannon Bragg-Sitton - Idaho National Laboratory (USA)

Annalisa Bruno - Nanyang Technological University (Singapore)

Jonathan Craig - Eni Upstream, San Donato Milanese MI (Italy)

Michele Cucuzzella - Università di Pavia (Italy)

Samuel Furfari - Université Libre de Bruxelles (Belgium)

Giorgio Graditi - ENEA, Roma (Italy)

Stephane Guillerez - CEA, Grenoble (France)

Maria Kanakidou - University of Crete (Greece)

Tae-Yoon Kim - International Energy Association, Paris (France)

Sylvie Leray - Centre d'Etudes de Saclay (France)

Glauia Mendes Souza - University of Sao Paulo (Brazil)

Vanessa Montoya - Belgian Nuclear Research Centre, Mol (Belgium)

Maria Assunta Navarra - Università di Roma La Sapienza (Italy)

Carlo Alberto Nucci - Università di Bologna (Italy)

Joachim Peinke - University of Oldenburg (Germany)

Marco Ripani - INFN Genova (Italy)

Alessandro Spagnuolo - EUROfusion Consortium, Garching (Germany)

GENERAL INFORMATION and APPLICATION FORM: https://www.sif.it/corsi/scuola_energia



PASSION FOR PHYSICS

International School of Physics Enrico Fermi

23 June 2023

Villa Monastero, Varenna (Lake Como)



70th Anniversary

Passion for Physics is an International Symposium to celebrate the 70th Anniversary of the International School of Physics "Enrico Fermi" of the Italian Physical Society on the occasion of the 100th Anniversary of CNR (Italian National Research Council).

Organizers

Angela BRACCO - Università & INFN Milano, Italy

Luisa CIFARELLI - Università & INFN Bologna, Italy

Massimo INGUSCIO - European Laboratory for Nonlinear Spectroscopy (LENs);

Università Campus Bio-Medico Roma; Istituto Nazionale di Ottica - CNR, Italy

Tentative List of Speakers

Cristiano Ciuti - Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques, Université de Paris, France

Alberto Diaspro - Università di Genova & Nanoscopy IIT, Erzelli Labs, Genova, Italy

Fernando Ferroni - Gran Sasso Science Institute (GSSI), L'Aquila, Italy

Fabiana Gramegna - INFN Laboratori Nazionali di Legnaro, Italy

Serge Haroche - Laboratoire Kastler Brossel, Paris, France

Costanza Miliani - Istituto del Patrimonio Culturale del CNR, Napoli, Italy

Orazio Svelto - Politecnico di Milano, Italy

Guido Tiana - Università di Milano, Italy

Francesco Vissani - INFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso, L'Aquila, Italy

Diederik Wiersma - European Laboratory for Nonlinear Spectroscopy (LENs) & INRiM, Torino, Italy

Deadline for registration: 12 June 2023

For further information and registration please visit: <https://www.sif.it/corsi/passionforphysics2023>

Webcast will be available. Courtesy of INFN Multimedia Group



109° CONGRESSO NAZIONALE Società Italiana di Fisica

Salerno, 11-15 settembre 2023



Sede del Congresso:
Dipartimento di Fisica
Università di Salerno



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO



Dipartimento di
Fisica E.R. Caianiello



109° CONGRESSO NAZIONALE della SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Salerno, 11-15 settembre 2023

INFORMAZIONI GENERALI

COMUNICAZIONI e RELAZIONI SU INVITO

I riassunti delle comunicazioni, in italiano o in inglese, dovranno essere inseriti online dal **1 MARZO** a partire dalla pagina <https://www.sif.it/attivita/congresso/109>. La scadenza per la sottomissione è il **24 APRILE 2023**. I riassunti dovranno avere un massimo di 1200 caratteri, senza figure, senza note bibliografiche e l'autore dovrà indicare la Sezione pertinente. Verranno pubblicati nel volume degli atti del Congresso soltanto i riassunti pervenuti entro il termine e conformi alle norme prescritte.

Di norma ogni autore può essere segnalato come speaker in una sola comunicazione.

I lavori accettati verranno presentati oralmente, in italiano o in inglese. I relatori avranno a disposizione 20 minuti + 5 di discussione per le relazioni su invito e 10 minuti + 2 di discussione per le comunicazioni, compatibilmente con il programma della Sessione.

ALMENO UNO DEGLI AUTORI DELLA COMUNICAZIONE, POSSIBILMENTE IL PRESENTATORE, DEVE ESSERE SOCIO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA.

SEZIONI

SEZIONE 1: Fisica nucleare e subnucleare

SEZIONE 2: Fisica della materia

SEZIONE 3: Astrofisica

SEZIONE 4: Geofisica e fisica dell'ambiente

SEZIONE 5: Biofisica e fisica medica

SEZIONE 6: Fisica applicata, acceleratori e beni culturali

SEZIONE 7: Didattica e storia della fisica

SEZIONE GIOVANI: In collaborazione con l'Associazione Italiana Studenti di Fisica (AISF) e con il Progetto Young Minds dell'EPS

PREMI PER LE MIGLIORI COMUNICAZIONI

Per i presentatori che vinceranno sono previsti premi e la pubblicazione su *Il Nuovo Cimento*.

ISCRIZIONE AL CONGRESSO

Quote di iscrizione al Congresso per i Soci in regola per l'anno 2023	
Socio Ordinario o Relatore su Invito	€ 90,00
Socio under 40	€ 75,00
Socio Invitato	€ 75,00

Quote di iscrizione al Congresso per i non Soci	
Partecipante Ordinario	€ 160,00
Partecipante under 40	€ 135,00

Contestualmente all'iscrizione al Congresso è possibile rinnovare la propria associazione alla SIF o chiedere di diventare Socio SIF al fine di poter usufruire dei previsti sconti. Per associarsi alla SIF: <https://www.sif.it/associazione>

Sarà possibile preiscriversi al Congresso dalle ore 12.00 del 3 luglio fino alle ore 12.00 del 4 settembre 2023

PER PARTECIPARE AI LAVORI CONGRESSUALI È NECESSARIO ESSERE MUNITI DI TARGHETTA NOMINATIVA CHE ATTESTI L'AVVENUTA ISCRIZIONE AL CONGRESSO.

SEDE DEL CONGRESSO

I lavori del Congresso si svolgeranno presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Salerno, via Giovanni Paolo II, 132, Fisciano.



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

PREMIO “ENRICO FERMI” DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA



La Società Italiana di Fisica bandisce per l'anno 2023 un Premio di Euro 30.000,00 (trentamila) che verrà attribuito a uno o più Soci che abbiano particolarmente onorato la Fisica con le loro scoperte.

Il Premio verrà conferito nella seduta inaugurale del 109° Congresso Nazionale della SIF che si terrà a Salerno il giorno 11 settembre 2023 su proposta di una Commissione costituita da:

- il Presidente della Società Italiana di Fisica, che presiederà la Commissione
- un Membro designato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche
- un Membro designato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica
- un Membro designato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
- un Membro designato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- un Membro designato dall'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica
- un Membro designato dal Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica.

Ogni Socio può formulare proposte motivate indirizzandole entro il 10 maggio 2023 al Presidente della Società Italiana di Fisica. Ogni proposta completa della relativa documentazione deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile alla pagina https://www.sif.it/attivita/premio_fermi e dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo premio.fermi@sif.it entro il 10 maggio 2023.

PREMI DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Scadenza: 10 maggio 2023

PREMIO “ENRICO FERMI”

Premio di Euro 30.000,00 attribuito a uno o più Soci che abbiano particolarmente onorato la Fisica con le loro scoperte.

PREMI PER GIOVANI LAUREATI IN FISICA

Premi per la Fisica di Euro 1.000,00 e 2.000,00 riservati ai giovani laureati in Fisica rispettivamente dopo il maggio 2020 o dopo il maggio 2016.

PREMIO PER LA COMUNICAZIONE SCIENTIFICA

Premio di Euro 2.000,00 assegnato per aver effettuato o promosso un'importante attività di diffusione e comunicazione della cultura scientifica.

PREMIO PER LA DIDATTICA O LA STORIA DELLA FISICA

Premio di Euro 3.000,00 assegnato per realizzazioni didattiche nel campo della Fisica (libri, articoli, esperimenti, apparati sperimentali, ecc.) o per contributi in storia della Fisica.

PREMIO “LAURA BASSI” PER LE DONNE NELLA FISICA

Premio di Euro 3.000,00 riservato a laureate in Fisica che si siano particolarmente distinte negli ultimi 5 anni con le loro ricerche.

PREMIO SIF-SONS “NEUTRONS MATTER”

Premio di Euro 1.000,00 riservato a un giovane laureato in Fisica dopo il 1° gennaio 2018, discutendo una tesi in Fisica, Chimica, Scienza o Ingegneria dei Materiali o materie affini, su argomenti di interesse per la scienza dei neutroni e le sue applicazioni.

PREMIO “VINCENZO FERRARO”

Premio di Euro 1.000,00 riservato a un giovane ricercatore laureato in Fisica di età non superiore ai 35 anni che abbia ottenuto un risultato significativo nell'ambito delle sue ricerche nel campo della Fisica dei Plasmi.

PREMIO CONGIUNTO SIFT-SIF “GIOVANNI BIGNAMI”

Premio di Euro 1.000,00 riservato a un giovane ricercatore che abbia conseguito il dottorato in Fisica o in Astronomia da non più di 5 anni. Quest'anno il premio è attribuito per la fisica astroparticellare.

PREMIO “GIULIANO PREPARATA”

Premio di Euro 1.500,00 riservato a un giovane laureato in Fisica dopo il 1° gennaio 2018, discutendo una tesi di Fisica Teorica su argomenti di fenomenologia delle particelle elementari, onde gravitazionali, fisica dei neutrini e struttura della materia.

BORSA “ANTONIO STANGHELLINI”

Borsa di Euro 1.500,00 per svolgere attività di ricerca riservata a un giovane laureato in Fisica dopo il 1° gennaio 2018, discutendo una tesi di Fisica Teorica.

BORSA “ETTORE PANCINI”

Borsa di Euro 5.000,00 riservata a un giovane ricercatore laureato in Fisica di età non superiore ai 35 anni che abbia ottenuto un risultato significativo nell'ambito delle sue ricerche sperimentali in Fisica Nucleare o Subnucleare.

I bandi e i moduli per la partecipazione sono disponibili alla pagina:
https://www.sif.it/attivita/altri_premi

ALBERT EINSTEIN E L'ITALIA

SANDRA LINGUERRI

*Dipartimento di Filosofia e Comunicazione,
Università di Bologna, Bologna, Italia*

L'articolo illustra i profondi legami di Albert Einstein con l'Italia, iniziati già nell'adolescenza e proseguiti successivamente in svariate fasi della sua vita. Oltre che rievocare il forte legame emotivo con il nostro paese, l'articolo si sofferma sui rapporti scientifici tra Einstein e alcuni colleghi italiani; sul suo tentativo nel sostenere la libertà e la dignità degli uomini di cultura al di qua delle Alpi a seguito del giuramento di fedeltà al regime fascista imposto in Italia nel 1931.

1 Albert Einstein: uno schizzo biografico

"Nell'età cruciale in cui un ragazzo matura e si trasforma in una persona pensante [...] i suoi [di Albert Einstein] interessi scientifici si ampliarono. Non si occupava ora solo della matematica, ma aveva già iniziato a interessarsi ai problemi fondamentali delle scienze naturali in generale. La musica gli serviva come unica distrazione. Sapeva già eseguire sonate di Mozart e Beethoven al violino, accompagnato dalla madre al piano. [...] Quando la famiglia si trasferì in Italia nel 1894, fu deciso di lasciare Albert a Monaco, per terminarvi il *Gymnasium*. [...] In questo periodo spediva a Milano solo lettere laconiche, da cui poco si poteva desumere sulla sua vita [...]. In realtà, egli si sentiva molto a disagio [...]. Anche il tono militaresco della scuola, con un'istruzione sistematica a riverire l'autorità [...] risultava particolarmente sgradevole al ragazzo. Egli pensava con orrore al momento [...] in cui avrebbe dovuto [...] adempiere ai suoi obblighi militari. Depresso e nervoso, si mise alla ricerca di una scappatoia" [1].

È così che Maja Einstein-Winteler, sorella minore di Albert Einstein, in una biografia del 1924 dedicata al fratello, ci offre per prima notizie del soggiorno in Italia della famiglia in cerca di fortuna; ad essere enfatizzati sono gli anni di formazione del fratello, il precoce amore per la scienza e la musica, il carattere ribelle, la rara determinazione e, soprattutto, la vita spensierata che entrambi trascorsero a Pavia e nella vicina Casteggio, nella casa di campagna della comune amica Ernestina Marangoni [2].

2 Milano, Pavia, Casteggio: "i più bei ricordi di gioventù"

Ma come e perché gli Einstein erano arrivati in Italia [3]? Il padre Hermann, commerciante, e la madre Pauline Kock, entrambi ebrei ma non praticanti, legati alla borghesia democratica tedesca di fine Ottocento, nel 1880 si erano trasferiti da Ulm, città natale di Albert, a Monaco ove, l'anno seguente, era nata Maja. Nel frattempo, Hermann con il fratello Jacob, un ingegnere laureato al Politecnico di Stoccarda, aveva costituito una fabbrica di idraulica con applicazioni elettriche. Sono gli anni in cui l'illuminazione elettrica, pubblica e privata, irrompe nelle città europee. Nel 1881 venne inaugurata a Parigi la prima Esposizione internazionale di elettricità; nei decenni successivi ne seguirono molte altre in una competizione di prestigio tra nazioni.

Lo zio Jacob ottenne diversi brevetti per dinamo, lampade ad arco, strumenti di misura e il giovanissimo Albert crebbe a contatto con il mondo dell'elettrotecnica in piena crescita. Ma proprio questi promettenti successi portarono la Ditta Einstein a competere con altre aziende troppo potenti, in una gara impari dalla quale uscì sconfitta. Quando nel 1894 gli Einstein persero l'appalto per l'elettrificazione di Monaco, decisero di spostarsi sul mercato italiano in espansione, ma meno competitivo. Nel marzo 1894 a Pavia furono fondate le "Officine Elettrotecniche Nazionali Einstein", associate con l'ingegnere Lorenzo Garrone. Nel giro di pochi mesi venne costruita una grande fabbrica sul Naviglio, in una posizione strategica per la produzione di energia elettrica (fig. 1).

Nel dicembre del 1894 fu davvero grande la sorpresa per mamma Pauline e papà Jacob nel vedere comparire a Milano il giovane Albert, il quale aveva trovato la sua "scappatoia" dall'opprimente ambiente tedesco: raggiungere la famiglia in Italia ove si sentiva libero di seguire le sue naturali predisposizioni. Dovette essere davvero convincente Albert se il padre gli permise di rinunciare alla cittadinanza tedesca, rimanendo apolide per alcuni anni fino ad acquisire quella Svizzera nel 1901 e alla quale non rinunciò mai, nonostante le traversie della vita.

Rassicurati i genitori che intendeva prepararsi da autodidatta per accedere al Politecnico di Zurigo, Albert cominciò a dedicarsi ai suoi studi in una sorta di prolungata vacanza, immergendosi nella lettura di libri tra i quali i primi volumi del testo di fisica di Jules Violle, di livello universitario.

Quando partì la produzione della loro Officina elettrotecnica gli Einstein si trasferirono da Milano a Pavia. Qui alloggiarono in una lussuosa residenza eretta nel Cinquecento e abitata in precedenza da Ugo Foscolo: Palazzo Cornazzani.

Essi si inserirono facilmente nella borghesia locale ed ebbero rapporti di alto livello con esponenti dell'Università di Pavia. La conseguenza fu che Albert si ritrovò immerso non solo in un ambiente di ingegneri e industriali, ma anche in un contesto accademico. I risultati scientifici non tardarono perciò ad arrivare.

Nell'autunno del 1895, a soli sedici anni, Albert scrisse il suo primo articolo scientifico intitolato "Über die Untersuchung des



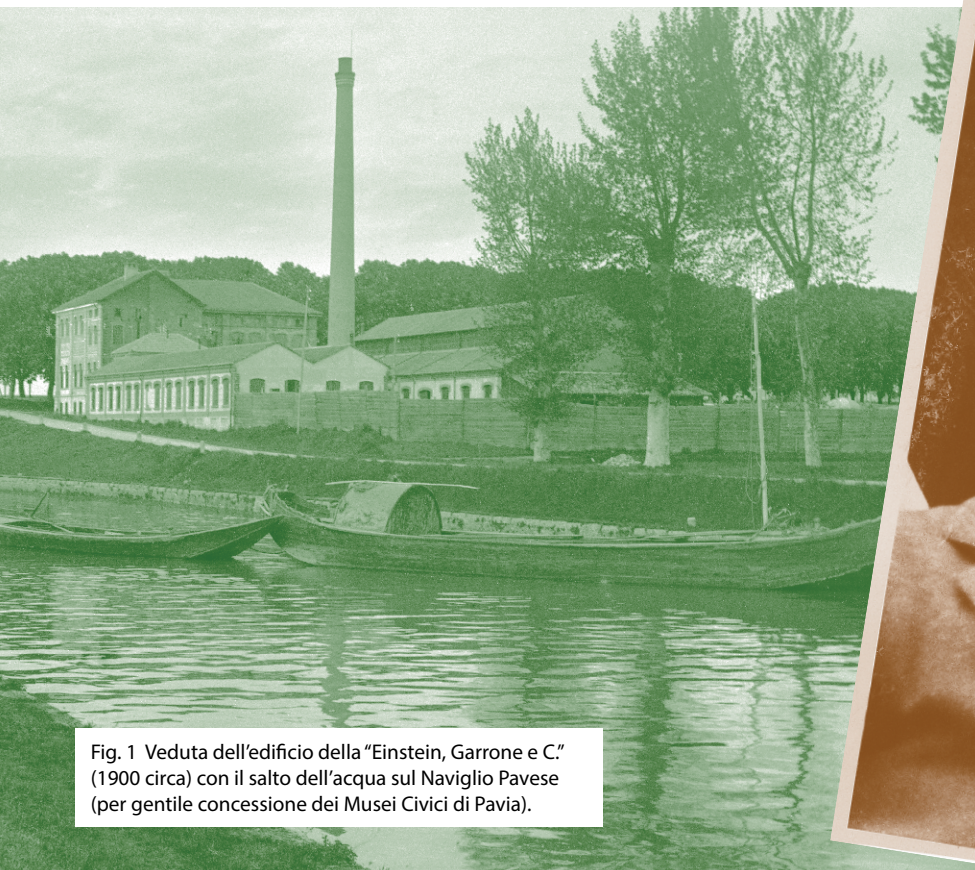


Fig. 1 Veduta dell'edificio della "Einstein, Garrone e C." (1900 circa) con il salto dell'acqua sul Naviglio Pavese (per gentile concessione dei Musei Civici di Pavia).



Fig. 2 Albert Einstein 1896 ca. (per gentile concessione di ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv).

Ätherzustandes im magnetischen Felde", noto come "Pavia Paper" [4]. L'articolo trattava della trasmissione di effetti magnetici nell'etere e conteneva i primi tentativi di Albert di confrontarsi con i problemi dell'elettromagnetismo, un argomento oggetto di un vivace dibattito nel mondo scientifico del tempo. Sebbene non ci sia un'evidente connessione con la ricerca universitaria, non bisogna dimenticare che in quegli anni era professore di fisica sperimentale in ateneo Adolfo Bartoli, noto per l'identificazione della pressione di radiazione, uno sviluppo della teoria di Maxwell, e specialista di misure termiche, il quale lavorava occasionalmente per grandi aziende del settore elettrico.

Nell'ottobre del 1895 Albert – come promesso – affrontò, con due anni di anticipo, l'esame da privatista per entrare al Politecnico di Zurigo, grazie anche all'aiuto della famiglia che mobilitò allo scopo membri influenti della loro cerchia in Svizzera e in Italia. Fu Albert in persona a scrivere al celebre Galileo Ferraris, considerato il padre dell'elettrotecnica teorica, chiedendogli di sostenere la propria causa presso Heinrich Weber, professore di fisica e di elettrotecnica al Politecnico di Zurigo. La lettera è datata 12 agosto 1895. È scritta su carta intestata dell'azienda di famiglia la cui sede amministrativa si trovava a Milano in Via Berchet 2 [5]. Il giovane Einstein si presentava dunque come pienamente inserito nell'attività ingegneristica dello zio Jacob, al quale faceva da assistente di laboratorio cimentandosi con successo come progettista. Si tratta di una circostanza testimoniata, molti anni dopo, da

Otto Neustätter, un giovane specializzando in oculistica all'Università di Pavia, che aveva stretto una solida amicizia con Albert [6].

Queste promettenti premesse non bastarono per superare l'esame d'ingresso al Politecnico, che Albert ritenne, questa volta con esito positivo, nell'ottobre del 1896, dopo aver conseguito la maturità alla scuola tecnica cantonale di Aarau. Risalirebbe a questo periodo un suo secondo saggio dal titolo "Sull'elettricità e le correnti elettriche", di cui rimane traccia nella memoria dell'altra grande amica del periodo pavese, Ernestina Marangoni, figlia di una illustre e colta famiglia di Casteggio.

Fu a lei che Albert ne diede una copia, poi restituita su sua richiesta perché accortosi della presenza di un errore. "Già allora – testimoniò Ernestina in una intervista rilasciata ormai anziana nel 1955 a un mese dalla morte di Einstein – funzionava incessante l'autocritica. Senza rendersene conto si percepiva che la sua era una mente singolare". Sfogliando l'album dei suoi ricordi, Ernestina – che negli anni della maturità aveva esercitato la libera professione in farmacia e animato un vivace circolo culturale nella sua Casteggio – ritornava altresì al tempo in cui ragazza, tra i diciotto e i diciannove anni, aveva incontrato per la prima volta Albert (fig. 2).

"Alberto lo conobbi in un pomeriggio estivo in cui era in vacanza tra due semestri, allo stabilimento bagni in Ticino, e mi parve un giovinetto un po' delicato ma sano – un po' scialbo di tinte, occhi scuri, capelli castani non neri come quelli della sorella e come divennero in seguito". In questi incontri estivi Albert che "parlava abbastanza bene l'italiano – proseguiva

Ernestina – le *boutades* le lanciava in tedesco, lasciandole poi tradurre dalla sorella [...]. Le giornate più belle si trascorrevano sui colli per vendemmie festanti nei vigneti opulenti di grappoli [...] in un gruppo di gioventù affiatata e omogenea; oppure ascoltando Alberto suonare con passione, accompagnato al piano dalla sorella Maja, un ottimo violino che egli non portava con sé, ma che io gli procuravo a prestito" [7].

Ernestina aggiungeva infine a queste cronache altri episodi, descrivendo divertita il lungo viaggio durato quasi quattro giorni con l'amico Neustätter, che Albert compì via tram da Pavia e a piedi da Voghera, fino a Genova per visitare lo zio materno, Jacob Koch, mercante di granaglie.

Dalla sorella Maja veniamo poi a sapere di un'ulteriore amicizia italiana di Albert con un personaggio politicamente autorevole conosciuto in vacanza ad Airolo sul Gottardo, Luigi Luzzatti, pluriministro in vari governi nonché addirittura Primo Ministro.

Nel giro di pochi anni la spensierata stagione italiana cominciò a volgere a termine. Quando la ditta Einstein-Garrone venne liquidata, nonostante un inizio promettente, la famiglia si trasferì nuovamente a Milano in un sontuoso appartamento di proprietà della contessa Maffei. Nel 1899 Hermann costituì un'altra società di cui fu l'unico sottoscrittore e con questa nuova impresa si impegnò a portare l'elettricità in piccoli comuni d'Italia. Tra questi Canneto sull'Oglio e Isola della Scala. Anche il giovane Albert, che il padre avrebbe voluto suo associato nella nuova ditta, visitò le macchine elettriche là costruite nell'estate del 1900.

Una testimonianza preziosa dei frequenti spostamenti di Albert tra la Svizzera e l'Italia è contenuta nelle lettere che egli scambiò con Mileva Marić, tra l'ottobre del 1900 e la primavera del 1901. Anche lei studentessa al Politecnico di Zurigo, fu amica prima e compagna di vita poi. Quando Albert era lontano, a Milano, le scriveva assiduamente. Le parlava dei comuni interessi scientifici, delle letture che si procurava probabilmente nella fornitissima biblioteca dell'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, della loro unione sentimentale, che però era avversata dai genitori di lui, delle prospettive di lavoro e del futuro. Ma anche dei piani per le vacanze e per le loro escursioni.

In quel periodo, Albert, attraverso il matematico Giuseppe Jung, zio dell'ingegnere italo-svizzero Michele Besso [8], un altro giovane che apparteneva al gruppo più stretto dei suoi amici, cercò invano di ottenere un posto di assistente a Bologna alla cattedra di Augusto Righi, oppure di Angelo Battelli all'università di Pisa. Nonostante queste frustrazioni, l'ambiente italiano, con i suoi ritmi tranquilli, permetteva ad Albert di rilassarsi. Così osservava Mileva, la quale, nel maggio del 1901, lo raggiunse per una escursione sul lago di Como e nei dintorni. Poi via in treno fino a Chiavenna e da qui al Passo dello Spluga [9].

Nel 1902 con la morta improvvisa di Hermann si concluse la parentesi italiana della famiglia Einstein. La madre Pauline e la sorella Maja traslocarono in Svizzera, mantenendo però vive le relazioni con amici e parenti rimasti in Italia. In particolare, Maja ed Ernestina restarono a lungo in contatto: il loro legame fu favorito dal fatto che nel 1920 Maja tornò a vivere in Italia, a Colonnata, vicino a Firenze.

3 **Tullio Levi-Civita: un corrispondente memorabile**

Fu nel 1905, il suo *annus mirabilis*, che Einstein, mentre si trovava all'Ufficio Brevetti di Berna, pubblicò quattro memorabili articoli destinati a provocare una rivoluzione in fisica e nella scienza in genere. Circa questi articoli Einstein comunicò a Conrad Habicht, matematico suo compagno di studi a Berna, che il primo era estremamente innovativo; mentre in chiusura di quello sulla relatività ristretta ringraziava per "vari preziosi suggerimenti" l'amico per la vita Michele Besso, all'epoca suo collega all'Ufficio Brevetti.

Nell'immediato, i risultati suscitavano scarso interesse se non scetticismo generale, fatta eccezione per l'eminente fisico tedesco Max Planck che, nella sua qualità di direttore degli *Annalen der Physik*, ne aveva favorito la pubblicazione. Egli, in seguito, divenne suo convinto sostenitore. Infatti, si deve soprattutto a lui l'invito del 1913 a trasferirsi a Berlino ove Einstein – dopo aver insegnato all'Università di Praga e al Politecnico di Zurigo – si stabilì

nel 1914, alla direzione di un neo istituto di ricerca, diventando altresì autorevole membro dell'Accademia prussiana delle scienze. Meno bene, invece, erano andate le vicende private giacché proprio in quel periodo Albert si separò da Mileva Marić, divenuta sua moglie nel 1903. Lei ritornò in Svizzera coi figli Hans Albert e Eduard; mentre Albert, ottenuto il divorzio nel 1919, si risposò con una cugina, Elsa Löwenthal.

A Berlino Einstein condusse in porto la formulazione finale della relatività generale attraverso una lunga e faticosa successione di nuove revisioni della sua teoria. Prigioniero entro l'intricato labirinto delle equazioni gravitazionali, Albert si scontrò contro l'assenza di adeguati strumenti matematici, fino a lanciare il noto grido d'aiuto a Marcel Grossmann, matematico al Politecnico di Zurigo e vecchio compagno di studi.

Fu per l'appunto Grossmann che gli indicò la via d'uscita rappresentata dal calcolo differenziale assoluto (oggi chiamato calcolo tensoriale) elaborato nel 1900 da due italiani, Gregorio Ricci Curbastro e il suo pupillo Tullio Levi-Civita, docente all'Università di Padova. Tale calcolo permette di studiare e di formulare qualunque teoria fisica, anche quelle ben note, in modo del tutto indipendente dall'osservatore. Era il tipo di calcolo che poteva servire ad Einstein! Iniziò così una serrata e brillante corrispondenza con Levi-Civita.

"Caro Collega, mi farebbe piacere se la prossima volta lei mi scrivesse in italiano. Da giovane trascorsi più di sei mesi in Italia; ebbi allora anche il piacere di visitare la graziosa cittadina di Padova e ancora oggi mi fa piacere utilizzare le mie modeste conoscenze della lingua italiana" [10]. Ecco l'incipit della seconda missiva di questo fitto scambio epistolare scritta da Einstein da Berlino nel marzo del 1915.

Levi-Civita non si fece pregare rispetto a questa insolita richiesta del suo illustre interlocutore e inviò una articolata risposta in italiano circa i problemi matematici in discussione. Una risposta assai apprezzata da Einstein non solo per lo spirito critico e indipendente con cui Levi-Civita si occupava dell'argomento, ma anche per lo stile "così autenticamente Italiano" che gli rievocava "i più bei ricordi della gioventù". I suggerimenti e le critiche di Levi-Civita furono fondamentali e diedero un contributo decisivo che Einstein non esitò a riconoscere più volte, sia pubblicamente a partire dall'articolo del 1916 "Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie" [11], sia privatamente, come si evince da quella corrispondenza che segnò una collaborazione non solo sul terreno scientifico, ma anche una vicinanza sul piano umano. "Cercherò volentieri – così scriveva Einstein già nel 1915 – di far diventare personale la nostra conoscenza epistolare, un motivo in più per me per ritornare al di là delle Alpi" [12].

4 **Ottobre 1921, le conferenze bolognesi**

Questo desiderio si realizzò anni dopo, nell'ottobre del 1921, quando Einstein visitò Bologna, l'unica città italiana ove tenne tre conferenze sulla relatività aperte al pubblico. Einstein vi giunse dietro invito di Federico Enriques, titolare della cattedra di geometria proiettiva nell'ateneo felsineo, scienziato famoso all'estero per i suoi lavori di geometria algebrica e per i suoi interessi nel campo della storia e della filosofia della matematica.

La venuta di Einstein a Bologna fu per l'Italia di quegli anni un evento memorabile poiché dietro l'invito di Enriques si celava, com'era sua abitudine, una buona dose di lungimiranza scientifica e di anticonformismo intellettuale. All'indomani della pubblicazione dell'articolo "Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie" anche l'Italia, non diversamente dagli altri paesi europei e oltreoceano, aveva fatto la sua parte nell'aprire, all'interno della comunità scientifica, un dibattito dal contenuto piuttosto eterogeneo e che, per la verità, era partito in sordina già alcuni anni prima [13].

Tale dibattito, per un verso, aveva registrato le forti critiche di astronomi e fisici sperimentali, che concepivano la teoria della relatività come una semplice collezione di ragionamenti matematici a priori senza alcuna relazione con il mondo fisico. Per l'altro, aveva incontrato un interesse positivo e precoce presso i matematici Guido Castelnuovo, Levi-Civita e il fisico Orso Mario Corbino. A partire dal 1911, essi avevano cominciato a discutere della relatività ristretta sulle pagine della rivista "Scientia", un periodico interdisciplinare a diffusione internazionale, fondato e diretto da Enriques nel 1907, allo scopo di svecchiare il panorama culturale italiano [14]. Il dibattito si era poi arricchito con scritti di Poincaré, Langevin, Brillouin, Abraham, i quali, pur nella diversità delle posizioni, stavano allora delineando i principi e le caratteristiche di una nuova meccanica relativistica. Fu proprio a seguito del durissimo attacco mossogli da Abraham che Einstein fu spinto a replicare nel 1914 con l'articolo "Zum Relativitäts-Problem" [15].

Einstein guardava con favore all'impostazione della rivista *Scientia* e aveva grande considerazione del lavoro del suo direttore Enriques, di cui apprezzava specialmente la riflessione epistemologica sui fondamenti delle scienze fisico-matematiche. Lo si evince da una cartolina a firma sua e di Heinrich Zangger, antecedente l'aprile del 1920, nella quale i due chiedevano a Enriques notizie su eventuali edizioni aggiornate della sua opera più nota, "Problemi della scienza", uscita nel 1906 e tradotta in tutte le principali lingue. Dal canto suo, Enriques esprimeva la più fervida ammirazione nei confronti dell'ultimo grande successo di Einstein, la relatività generale; anche se confessava di "non aver ben assimilato lo

spirito delle sue idee direttive”, augurandosi di poterlo incontrare “in condizioni favorevoli ad una riposata conversazione” [16].

L'occasione si presentò neanche un anno dopo. Nel gennaio del 1921 Enriques informava Einstein che si era pensato di far inaugurare proprio a lui un ciclo di incontri promosso dall'Università per invitare nel nostro paese intellettuali stranieri di chiara fama. Da un punto di vista istituzionale la visita fu ulteriormente preparata in aprile, quando Einstein venne proclamato socio corrispondente estero dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Einstein arrivò in città il 21 ottobre viaggiando in treno. Proveniva da Firenze, dove era andato a trovare la sorella Maja, e viaggiava con il figlio maggiore Hans Albert. Alla stazione fu ricevuto da un gruppo di studenti dell'Università. Tra questi la figlia diciannovenne di Enriques, Adriana, testimone preziosa di quelle giornate e all'epoca matricola di matematica [17]. La sera stessa Einstein fu invitato ad una *soirée* in casa Enriques. Qui fu immediatamente coinvolto in una vivace discussione scientifica con il fisico Quirino Majorana e con Levi-Civita, che nel frattempo era diventato docente all'Università di Roma.

Le cronache delle sue conferenze, che si tennero nei giorni 22, 24 e 26 ottobre (fig. 3) ebbero una vasta eco sui principali quotidiani che pubblicarono profili

dell'illustre ospite, fino alle interviste di Enriques, Levi-Civita e ovviamente Einstein, il quale ebbe un lungo colloquio con il giornalista Aldo Sorani.

Di sé Einstein disse di essere un pacifista militante; un sostenitore della Lega delle Nazioni; un fautore di un centro culturale ebraico a Gerusalemme, convinto che esso avrebbe potuto fungere da prezioso tramite fra Oriente ed Occidente. Interpellato sul significato filosofico, morale e politico della sua teoria nonché sulle polemiche e i numerosi fraintendimenti, Einstein rispose: “Ho seguito direttamente la linea razionalista, non l'ho spezzata, io proseguo Newton, non lo annullo. E poiché è noto che sono pacifista, internazionalista, ebreo, si è detto e si dice che la mia dottrina è essenzialmente rivoluzionaria e socialmente pericolosa [...]. La mia teoria non ha nessuna intenzione di questo genere, almeno nella mia mente. Sono estraneo in modo assoluto alle applicazioni che se ne fanno e alle illusioni che anche in Italia se ne fanno” [18]. In effetti, non mancavano interpretazioni assai fantasiose e bizzarre, come, per esempio, quelle del filosofo Adriano Tilgher, che legava la teoria della relatività nientemeno che con “il pragmatismo in filosofia, il capitalismo dei trusts in economia [...], in politica l'imperialismo, in arte il titanismo, l'energetismo o, come io preferisco dire [...] il chisciottismo” [19].



Fig. 3 Albert Einstein e Federigo Enriques, Bologna ottobre 1921 (per gentile concessione della famiglia Enriques).

L'impatto di Einstein sul grande pubblico accolto numeroso per ascoltarlo nell'Aula Magna dell'Archiginnasio (fig. 4), sede dell'antico Studio, fu teatrale: simile "a quella di un divo del bel canto su una scena lirica" [20]. Einstein, che parlò in italiano, usò esempi qualitativi, sia nella prima conferenza sulla relatività speciale per illustrare perché il concetto di simultaneità di due eventi che sembra assolutamente ovvio è invece un concetto critico; sia nella seconda conferenza, quella sulla relatività generale, per spiegare perché diventa necessario andare al di là della geometria euclidea per trattare in generale il problema della gravitazione dello spazio tempo. Nella terza, infine, passò ad esporre la concezione relativistica dell'universo [21].

La necessità di approfondire gli aspetti più tecnici della teoria della relatività fu invece al centro di una riunione di specialisti che si tenne la domenica 23 in Accademia delle Scienze. Stando al verbale, intervennero Pietro Burgatti, Giacomo Ciamician, Quirino Majorana, Lavoro Amaduzzi, Levi-Civita, Guido Castelnuovo e ovviamente Enriques. Gli studenti dell'ateneo ebbero il privilegio particolare di una riunione senza i professori, in cui lo scienziato rispose con grande chiarezza a tutte le loro domande. Le conferenze bolognesi furono anche l'occasione per la casa editrice Zanichelli, di cui Enriques era

consulente scientifico, di pubblicare la prima traduzione italiana di un'opera divulgativa scritta da Einstein nel 1917. L'opera fu intitolata "Sulla relatività speciale e generale" ed ebbe la prefazione di Tullio Levi-Civita.

Il grande assente, per ragioni famigliari, fu Gregorio Ricci Curbastro [22]. Einstein però decise di andare a rendergli pubblicamente omaggio. Il 27 di ottobre si recò a Padova per un seminario anch'esso molto affollato nell'Aula Magna del Palazzo del Bo, nella stessa aula dove aveva insegnato Galilei.

Al momento del congedo, su un piccolo libretto dalla copertina in pelle, acquistato appositamente da Adriana Enriques con l'intento di farci scrivere sopra solo persone di valore, Einstein siglò a mano un aforisma a lei dedicato: "Lo studio e più in generale l'amore per la bellezza e per la verità, sono cose dinanzi alle quali si vorrebbe sempre rimanere bambini. Ad Adriana in ricordo della conoscenza fatta nell'ottobre 1921" [23].

5 Dopo Bologna

Negli anni seguenti Einstein ed Enriques continuarono a restare in contatto, idealmente mediante le rispettive attività scientifiche, organizzative, civili e sociali nonché direttamente scrivendosi a più riprese. Risale al 1923 il primo tentativo di

Enriques, che nel frattempo si era trasferito all'Università di Roma, di far venire Einstein in Italia per metterlo al sicuro dalla campagna antisemita che stava montando in Germania contro di lui, offrendogli la cattedra di fisica matematica alla Sapienza. L'operazione era stata concordata "in stretta confidenza col Ministro della P. Istruzione", il filosofo idealista Giovanni Gentile. Einstein, pur profondamente commosso dall'offerta, declinò l'invito: "Caro collega, la Sua lettera mi ha molto commosso, e devo confessarLe apertamente che preferirei la compagnia Sua, e di Levi-Civita, a quella dei miei colleghi qui. Ma [...] alla mia età non è poi così facile cambiare ambiente [...]. Se in futuro mi sentirò costretto, per l'aggravarsi della situazione, ad abbandonare questo mio nido, mi rivolgerò subito a Lei con gioia e fiducia" [24].

Secondo Adriana Enriques, il tentativo di chiamare Einstein in Italia fu ripetuto dieci anni dopo, allorché nel 1933 in Germania gli attacchi antisemiti contro Einstein si fecero sempre più forti e duri mettendo a repentaglio la sua stessa incolumità. Ma questa volta – come Adriana ebbe a precisare – fu Mussolini in persona ad opporsi; a quel tempo l'atmosfera politica in Italia era profondamente mutata da quando il regime fascista, nel 1925, si era tramutato in un vero e proprio totalitarismo. Del resto, il parere



Fig. 4 Albert Einstein, Federigo Enriques e un gruppo di docenti dell'Università di Bologna nelle logge dell'Archiginnasio, Bologna ottobre 1921 (per gentile concessione della famiglia Enriques).

fascista sugli scienziati ebrei fin dal 1929 era stato lapidario: "purtroppo oggi scienziati italiani veramente superiori, ad eccezione di Marconi, non ve ne sono [...] nei matematici dei due ora meglio quotati il Levi-Civita è un comunista convinto ed uno squinternato, il Volterra è stato fatto un grand'uomo dalla massoneria internazionale, come l'Einstein" [25].

C'era più di una ragione perché Einstein fosse particolarmente inviso al regime. Quando nel 1931 era piombato sulle teste dei professori universitari italiani l'obbligo di giurare fedeltà alla dittatura fascista [26], Einstein era intervenuto contro questo atto politico, che aveva lo scopo preciso di ridurre l'intero corpo accademico italiano all'obbedienza. La presa di posizione di Einstein – resa pubblica – era stata sollecitata dal giurista Francesco Ruffini, professore all'Università di Torino, senatore dal 1914, noto per i suoi frequenti interventi in parlamento contro il governo Mussolini. L'opposizione era stata pagata a caro prezzo da Ruffini che fu estromesso dal Comitato internazionale per la cooperazione intellettuale, l'organismo della Società delle Nazioni in cui sedeva pure Einstein e dove i due si erano conosciuti. Nella lettera che Ruffini inviò ad Einstein via Ginevra, grazie all'interessamento degli esuli italiani Guglielmo Ferrero e Mario Carrara, egli lo informava che né lui né suo figlio Edoardo intendevano giurare. Altri, come per esempio il matematico Vito Volterra, assai noto all'estero, avrebbero fatto lo stesso; ma i più si sarebbero piegati.

Einstein non si fece pregare e scrisse un'accurata lettera al ministro della giustizia Alfredo Rocco al fine "di evitare [...] una spietata durezza che incombe sugli studiosi italiani" e per "risparmiare questa umiliazione al fior fiore dell'intelligenza italiana". A nulla valsero i richiami alla libertà di pensiero e di insegnamento, al principio che la ricerca della verità scientifica dovesse essere svincolata dai poteri statali. "È nell'interesse supremo di tutti che i leali servitori della verità siano lasciati in pace. Ciò è anche senza dubbio nell'interesse dello Stato italiano e del suo prestigio agli occhi del mondo", così Einstein terminava il suo appello [27].

Il tema della libertà della scienza negli stati e nella società era particolarmente caro ad Einstein che vi ritornò, più tardi, in un progetto di libro che coinvolse Gaetano Salvemini, ex-deputato, già professore di storia all'Università di Firenze ed esule a Parigi, nonché il filosofo Benedetto Croce. Quest'ultimo, in nome della libertà di pensiero, aveva redatto il Manifesto degli intellettuali antifascisti nel 1925, allora siglato da illustri rappresentanti del mondo culturale. Il libro uscì a New York nel 1940 con il significativo titolo *"Freedom, Its Meanings"*. All'epoca, Einstein si trovava da tempo negli Stati Uniti, ove si era rifugiato nel 1933, dopo l'ascesa al potere di Hitler e a causa delle violenze antisemite.

Intanto, nell'Italia fascista la sua figura era diventata oggetto di scherno e dileggio su riviste come "La difesa della razza", uno strumento culturale per la diffusione della politica razziale del regime. Nel 1938, quando vennero promulgate le nefande leggi razziali siglate dal re Vittorio Emanuele di Savoia e dal dittatore Mussolini, i libri di Einstein furono fra i primi a non essere più stampati. Per non subire l'affronto di essere estromesso dai sodalizi scientifici che si apprestavano a espellere i soci ebrei, Einstein giocò d'anticipo, dimettendosi, prima di essere cacciato, dall'Accademia Nazionale dei Lincei, che lo annoverava tra i suoi soci fin dal 1921. Non

furono risparmiati neppure i "suoi" cari amici Enriques, Castelnuovo e Levi-Civita, vessati, umiliati e privati dei più elementari diritti civili.

La minaccia delle persecuzioni razziali obbligò la sorella Maja a lasciare l'Italia all'inizio del 1939 per raggiungere il fratello a Princeton. Durante la fuga si incontrò un'ultima volta in stazione a Milano con l'amica del cuore Ernestina Marangoni. Einstein e Maja continuarono a scriversi con colleghi e amici italiani. I ricordi della felice gioventù pavese erano ancora vividi: "La prima mattina del mio soggiorno qui – scriveva Maja ad Ernestina il 18 aprile 1939 – mostrai ad Alberto la nostra foto della vendemmia al Fontanone [...] ed abbiamo parlato di te, di Pavia e di Casteggio, con Alberto che diventa tenero se ricorda quei tempi" [28]. Maja non aveva perso le speranze di poter tornare in Italia, nel paese che tanto amava e che si augurava non scendesse in guerra. Purtroppo l'augurio di Maja non si avverò; anche l'Italia fu travolta dalla guerra e i rapporti epistolari si interruppero.

Il 1946 fu l'anno della rinascita per l'Italia dopo l'immane catastrofe della dittatura e della guerra. Sopravvissuto a sofferenze e persecuzioni, Enriques fu reintegrato in tutte le sue prerogative accademiche e scientifiche; mentre Einstein si rallegrava con il collega, il neopresidente Castelnuovo, per la rinascita Lincea dopo l'"oppressione fascista" e rinnovava il suo desiderio di tornare "socio straniero [...] dell'Accademia così come [...] nei bei tempi del passato" [29]. Non ce la fece, invece, Levi-Civita a vedere il riscatto dell'Italia, scomparso dopo una lunga malattia nel 1941.

La fine della guerra fu per Einstein l'occasione per riprendere i contatti con Ernestina: "mi sono stabilito in America [...] mancando della vera fiducia negli uomini e in Iddio", si sfogava angosciato Einstein, "vita raminga con una sola costante – lavoro mathematico [...] felice di sentire che tutti gli amici Casteggiani [...] siano incolumi e caro Mussolini come onestamente meritato" [30].



In una seconda lettera inviata nel 1952 sempre alla "cara Ernestina", Einstein raccontava della sua solitudine: "è strano che io sia così vastamente noto e tuttavia così solo. Ma è un fatto che questo tipo di popolarità costringe la sua vittima in una posizione difensiva che conduce all'isolamento". Persino il bel ricordo di Casteggio si veniva di malinconia: "È difficile per me rendermi conto che siamo tutti invecchiati insieme. Nell'immaginazione la distanza fissa ogni cosa com'era a quel tempo [...] vista con gli occhi incantati della gioventù". E, infatti, riprendevano le riflessioni tristi. "Abbiamo dovuto testimoniare enormi sommovimenti politici e ne vedremo ancora altri se non moriamo in tempo. Nella sostanza ogni cosa è sempre la stessa. Le nazioni cadono sempre nella trappola, perché gli impulsi atavici sono più forti della ragione e delle convinzioni acquisite" [31].

La disillusione sull'animo umano è ancora più evidente se si pensa che, scrivendo a Croce nel giugno del 1944, dopo aver manifestato la più appassionata solidarietà al filosofo che in quel momento partecipava

alla battaglia politica post-bellica per la ricostruzione dell'Italia, Einstein, seguendo Platone, non rinunciava a esprimere fiducia in un governo retto dai filosofi, ossia dalla ragione. Croce rispondeva sottolineando la "comunanza" di propositi democratici, che li aveva uniti già nel 1931. Al tempo stesso però dubitava delle capacità dei filosofi di esercitare un governo razionale sugli eventi del mondo.

L'importante per lui era scendere nell'agone politico al momento del bisogno [32].

Una decina di anni dopo, in piena guerra fredda e in cerca di superbombe, in un clima politico da caccia alle streghe allora montante negli Stati Uniti, Einstein, fedele all'antimilitarismo che in gioventù lo aveva spinto verso l'Italia, siglava, dopo il manifesto pacifista "Agli Europei", firmato durante la

Prima Guerra Mondiale, quello promosso da Bertrand Russell contro l'uso della bomba atomica. Il testo recitava così: "noi rivolgiamo un appello da esseri umani a esseri umani: ricordate la vostra umanità e dimenticate il resto. Se farete così si aprirà la via verso un nuovo paradiso; altrimenti vi si spalancherà davanti il rischio di una morte universale" [33].

Bibliografia

- [1] M. Einstein-Winteler, "Albert Einstein, Beitrag für sein Lebensbild (Excerpt)", *The Collected Papers of Albert Einstein, The Early Years, 1879-1902* I (Princeton University Press, Princeton) 1987, XLVIII-XLVI.
- [2] L. Fregonese (a cura di), *Gioventù felice in terra pavese. Le lettere di Albert Einstein al Museo per la Storia dell'università di Pavia* (Monduzzi, Milano) 2005.
- [3] Ch. Bracco, *Quando Albert diventò Einstein. Gli anni italiani 1894-1902*, (Pisa University Press, Pisa) 2018.
- [4] A. Einstein, "Über die Untersuchung des Ätherzustandes im magnetischen Felde", *The Collected Papers of Albert Einstein, The Early Years*, cit., pp. 6-9.
- [5] A. Silvestri, *Omaggio ad Albert Einstein* (Politecnico di Milano, Milano) 2005.
- [6] O. Neustätter ad A. Einstein, 12 marzo 1929, in: D. K. Buchwald et al. (Editors), *The Collected Papers of Albert Einstein: The Berlin Years: Writings & Correspondence, June 1927 - May 1929*, Vol. 16 (Princeton University Press) 2021, pp. 625-626.
- [7] E. Pelizza Marangoni, *Momenti pavesi nella vita di Alberto Einstein*, *La Provincia Pavese*, 14 maggio 1955, p. 3.
- [8] G. Gembillo (a cura di), *Albert Einstein Corrispondenza con Michele Besso* (Guida editori, Napoli) 1995.
- [9] J. Reen, R. Schulmann (a cura di), *Albert Einstein e Mileva Marić. Lettere d'amore* (Bollati Boringhieri, Torino) 1993.
- [10] A. Einstein a T. Levi-Civita, 17 marzo 1915, in: P. Nastasi, R. Tazzioli (a cura di), *Per l'archivio della corrispondenza dei matematici italiani. Calendario della corrispondenza di Tullio Levi-Civita (1873-1941)* (Università Bocconi, Milano) 2000, p. 219.
- [11] A. Einstein, "Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie", *Annalen der Physik*, 4 (1916) 769.
- [12] A. Einstein a T. Levi-Civita, 14 aprile 1915, "Per l'archivio della corrispondenza dei matematici italiani. Calendario della corrispondenza di Tullio Levi-Civita (1873-1941)", cit., p. 222.
- [13] S. Linguerri, R. Simili (a cura di), *Einstein parla italiano. Itinerari e polemiche* (Pendragon, Bologna) 2008. Si veda anche R. Maiocchi, *Einstein in Italia. La scienza e la filosofia italiane di fronte alla teoria della relatività* (Franco Angeli, Milano) 1985.
- [14] S. Linguerri, *La grande festa della scienza. Eugenio Rignano e Federigo Enriques. Lettere* (Franco Angeli, Milano) 2005.
- [15] A. Einstein, "Zum Relativitäts-Problem", *Scientia*, 15 (1914) 337.
- [16] F. Enriques a H. Zangger, 20 aprile 1920, in: S. Linguerri, R. Simili (a cura di), *Einstein parla italiano. Itinerari e polemiche*, cit., p. 132.
- [17] M. Chierici, "Lessico familiare/La figlia del matematico Federigo Enriques apre l'album dei ricordi. «Io e Einstein alla stazione...»", *La Stampa*, 10 aprile 1992, p. 9.
- [18] A. Sorani, "Una conversazione con Albert Einstein", in: D. K. Buchwald, Z. Rosenkranz et al. (a cura di), *The Collected Papers of Albert Einstein. The Berlin Years: Correspondence January-December 1921* (Princeton University Press, Princeton) 2009, p. 542.
- [19] A. Tilgher, *Relativisti contemporanei: Vaihinger, Einstein, Rougier, Spengler: l'idealismo attuale, relativismo e rivoluzione* (Libreria di Scienze e Lettere, Roma) 1922, p. 38.
- [20] "La prima conferenza di Einstein", *Corriere della Sera*, 23 ottobre 1921.
- [21] S. Linguerri, R. Simili (a cura di), *Einstein parla italiano. Itinerari e polemiche* cit., pp. 97-128.
- [22] F. Toscano, *Il genio e il gentiluomo. Einstein e il matematico italiano che salvò la teoria della relatività generale* (Sironi Editore, Milano) 2004, pp. 253-255. Si veda anche J. R. Goodstein, *I matematici italiani di Albert Einstein. Ricci, Levi-Civita e la nascita della relatività generale* (Edizioni Efesto, Roma) 2020.
- [23] E. Ferrero, "In un diario le grandi firme del nostro secolo", *La Stampa*, 12 agosto 1988.
- [24] A. Einstein a F. Enriques, 11 aprile 1923, in: S. Linguerri, R. Simili (a cura di), *Einstein parla italiano. Itinerari e polemiche*, cit., p. 141.
- [25] Promemoria sui rapporti fra Accademia d'Italia e Consiglio delle Ricerche (1929), Archivio centrale dello Stato, Fondo CNR, II versamento, b. 231/1, fasc. "Pratiche riservate".
- [26] L. Polverini, "Albert Einstein e il giuramento fascista del 1931", *Rivista Storica Italiana*, 103, 1 (1991) 268.
- [27] A. Einstein a Ministro Rocco, 16 Novembre 1931, in: S. Linguerri, R. Simili (a cura di), *Einstein parla italiano. Itinerari e polemiche*, cit., pp. 172-273.
- [28] E. Sanesi, "Lettere di Maja Einstein a un'amica italiana", *Prospettive Settanta*, III, 2/3 (1977) 138.
- [29] G. Paoloni, R. Simili (a cura di), *I Lincei nell'Italia Unità. Mostra storico-documentaria* (Giorgio Bretschneider Editore, Roma) 2004, p. 227.
- [30] A. Einstein a E. Marangoni, 16 agosto 1946, in: L. Fregonese (a cura di), *Gioventù felice in terra pavese. Le lettere di Albert Einstein al Museo per la Storia dell'università di Pavia*, cit., pp. 23-24.
- [31] A. Einstein a E. Marangoni, 1 ottobre 1952, *Ibid.*, pp. 30-31.
- [32] *Alberto Einstein, Lettera a B. Croce e risposta del Croce* (Gius. Laterza & Figli, Roma) 1944.
- [33] Il testo del manifesto è pubblicato in O. Nathan, H. Norden, *Einstein on Peace* (Simon and Schuster, New York) 1960.



Sandra Linguerri

Sandra Linguerri è professoressa associata in Storia della Scienza presso l'Università di Bologna. I suoi principali interessi vertono sulla storia della scienza e della cultura tra Otto e Novecento con particolare riguardo alla storia delle istituzioni scientifiche in Italia dopo l'Unità; su prospettive di genere nella storia della scienza. È Life Member di Clare Hall (Cambridge UK); è stata Visiting Fellow negli Stati Uniti.

WOMEN IN PHYSICS IN INDIA: RECENT PERSPECTIVES

VANDANA NANAL¹, SRUBABATI GOSWAMI²

¹Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India

²Physical Research Laboratory, Ahmedabad, India

Gender inequality in science is a matter of grave concern globally, but the problem is even more acute in some branches like physics. The root causes of the gender gap in the physics profession in the Indian context are complex and need to be addressed both in the local and global context. This article presents a brief overview of the current status, problems, challenges in the Indian scenario and suggested measures towards achieving gender equity.



1 Introduction

The gender inequality in science has been globally recognised as a serious problem, which limits the sciences enterprise from achieving its full potential. The gender gap in the physics profession in India, as elsewhere, is particularly large. Although a few individual women have always been working in physics in India from the early 20th century (*i.e.* from the pre-independence era), the awareness of gender-based impediments for women physicists is of more recent origin. A collective effort was initiated around 2000 by interaction with the IUPAP working group on women in physics, WG5 [1]. In fact, it may be mentioned that this also seeded various activities in national science academies for women in STEM (*i.e.* Science, Technology, Engineering and Mathematics). One of the first initiatives was the setting up of the Working Group for Gender Equity (WGGE) of the Astronomical Society of India (ASI) in 2015¹, to address the issues related to gender inequity within the Astronomy and Astrophysics community in India.

The Gender In Physics Working Group (GIPWG)² of the Indian Physics Association (IPA) was set up in 2017 [2, 3]. The mandate of the group is to coordinate national efforts towards gender parity in the Indian physics profession. The working group is intended to collate information on the status of gender parity in the Indian physics profession, facilitate deliberations on the issues, come up with recommendations from time to time to address the gender disparity in physics, network with IUPAP and the gender working groups of physics societies of other countries. According to Prajval Shastri, the first chair of GIPWG, the “ultimate goal is a situation wherein gender will become irrelevant in physics profession in India and need for the group should cease to exist.”

Unfortunately in India, gender data on most aspects is very sparse. The first national effort for such a survey [4] is very recent (2010). The data related to funding proposal requests and success rate for women,

statistics of women applicants for various academic/industry jobs with PhD degrees, need to be compiled regularly through special efforts. However, even with available limited statistics, a severe “leaky pipeline” effect is evident. The number of women students pursuing physics drops after graduation (bachelor degree), it further reduces at PhD entry and significantly diminishes at faculty levels. A recent gender survey report among selected universities and institutes by S. Goswami *et al.* [5], shows a gross under-representation of women as we go up the ladder. The survey indicated that the percentage of early career women researchers (research scholars and post doctoral fellows) in physics is ~30%, which reduces to ~14% for faculty and plummets further amongst those receiving recognition in terms of awards and accolades. In particular, the gender disparity is striking for the elite research/teaching institutes. The highest Indian honour in science, the coveted Shanti Swarup Bhatnagar Award (initiated in 1901), has been awarded to only one female recipient in physics so far. In a striking contrast, the number of male recipients of this award is close to 100. The percentage of women in prestigious national science academies stands at ~6%. The fraction of women in leadership positions such as directors, vice-chancellors, or members of a governing council, is very meagre, but shows an increasing trend in the last 5 years.

While the reasons for reluctance in female students to choose a career in physics are complex, lack of awareness of opportunities and mentoring are significant factors. Two additional factors, namely, exceptionally low probability of securing a job in the same university/institute as that of one’s spouse and inadequate child care facility in most of the places, make a career in physics even more challenging for women. Additionally, the hiring norms in India are fixed by many-decade-old policies. Not only are these policies unfavourable to proactive changes with time based on recent data, but also are followed as close to the letter as possible in a defensive strategy to avoid litigation. The age limits in recruitments and awards adversely impact women researchers/teachers as well as to rise to higher academic positions. To change this, a conscious effort and a more holistic approach for gender mainstreaming at all levels is necessary.

¹ <https://astron-soc.in/wgge/>

² <https://www.tifr.res.in/~ipal970/gipwg/index.php>



Fig. 1 A group photo @ PFP2019.

There are also other indirect impacts. Since women faculty – both at junior and senior levels – are meagre in numbers, particularly at elite institutes, the requirement of having well-constituted committees often necessitates comparatively far more service contributions from women faculty than their male contemporaries. This in turn, impacts their ability to spend time, energy and focus on research and damages metrics responsible for advancement of career. Even occasional refusal is perceived as a handicap in effective time management.

2 Activities and impact of GIPWG

Proactive efforts to increase awareness, overcoming biases, improving resource allocation and mentoring is of foremost importance to promote gender equity in the Indian physics profession. The GIPWG activities, since its launch in 2017, are guided by this.

The group has initiated the “Pressing for Progress (PFP)” event series. The first discussion meeting on the gender gap in physics was held in 2018 at ICTS, Bengaluru. For the first time in India, an open discussion on sexual harassment in academia took place in this meeting [6]. The first interdisciplinary conference in physics PFP2019 was organised at the University of Hyderabad [7] (see fig. 1). About 250 physicists, social scientists, educators, and diversity practitioners attended the conference to deliberate on the issue of gender diversity

in physics. The program included physics keynote talks, invited talks and contributed posters as well as a panel discussion titled “Gender Gap in Physics: Whose Problem Is It?”. In an interdisciplinary plenary session, social scientists and diversity experts explored different avenues for promoting gender equity. Additionally, there were three interactive workshops to understand different challenges in gender inequity. These deliberations and discourses culminated in the Hyderabad Charter for Gender Equity in Physics [8] (see fig. 2), which advocates evidence-based interventions that step away from the patriarchal and “fix the women” frameworks. The charter contains recommendations for institutions, physics teaching, conferences, and national agencies.

The GIPWG is also facilitating gender working groups in physics subdisciplines. The subject groups in High Energy Physics (HEP) and Condensed Matter Physics (CMP) are set up in 2021-22. A national Women Physicist database and gender statistics of events like conferences, public lectures will be created with the help of these groups. As a first step, the GIPWG urges all women physicists to gather gender statistics in conferences where they participate. The HEP gender group has promoted wider discussions in national and international conferences. The GIPWG is actively working towards eradicating “manels”. The impact of GIPWG on IPA itself is evident – the percentage of women in the IPA’s

executive committee is ~30%. It should be mentioned that both in 2020-22 and 2023-24 executive committees, a senior executive post of the vice-president of IPA is handled by a woman physicist. This has also resulted in involving women physicists in various decision making processes of IPA – e.g. award evaluations and membership of Physics News editorial board. Since 2017, the number of women who have received the IPA award has gone up from 9% to 23%, and the number of female speakers in the prestigious C. V. Raman Lecture Series (supported by the Department of Atomic Energy) has increased from 8% to 24%.

An interactive workshop series PAWS – Program for Aspiring Women Scientists, focused on combating biases, has been initiated as a step towards mentoring young women researchers. This can be either in-person or online, the latter has enabled interactions with remote regions of the country. Programs also include sessions on career opportunities and showcasing successful women scientist role models.

3 Some other recent measures for women in STEM

Achieving gender equity needs a multi-thronged approach. While GIPWG is focused on women in physics, recently there have been several efforts for promoting women in STEM.

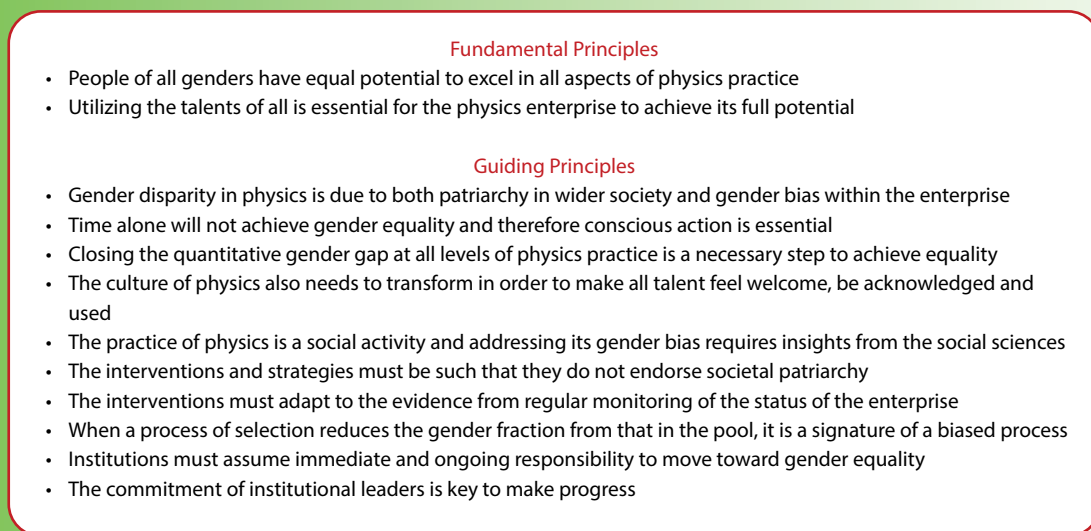


Fig. 2 A snapshot of the Hyderabad Charter.

Government of India (GoI) agencies have initiated and implemented a few specialised schemes. The Department of Science and Technology (DST) of GoI has a mobility scheme, CURIE, Vigyan Jyoti, limited tenure fellowship to provide opportunities for women with “break in career” (KIRAN). In government jobs in India, six months’ maternity leave can be availed at all levels. Also, a child-care leave upto 2 years can be taken any time till the child turns 18. However, the child-care policies and mobility allowances are not gender neutral and are often being misused to pressurise women to stay behind. Further, it should be mentioned that proper implementation of the policies to ensure benefits till grass-root level remains an open challenge. All three national academies in India have a Women in Science panel, which are actively engaged in promoting women in science.

The DST also introduced power grants and power fellowships for women researchers. In 2020, the DST launched an accreditation program, Gender Advancement through Transforming Institutions³, along the lines of the United Kingdom’s Athena Swan Charter. The Indo-German Science & Technology Centre (IGSTC), established by DST, GoI and the Federal Ministry of Education and Research, Government of Germany, has started a special programme WISER for women researchers in India/Germany to participate and collaborate in an ongoing R&D&I project. The proposed Science and Technology Innovation Policy (released in 2021) emphasizes the creation of an equity and inclusion charter. Some of suggested measures are a mandate of at least 30% women in leadership positions, flexible timings, gender-neutral child care benefits, couple recruitment policies, and spousal benefits for the LGBTQ+ community. It is to be hoped that the “work from home” concept enforced in COVID-19 pandemic has shown the way for flexible work patterns.

The publication wing of DST, Vigyan Prasar, has published

interviews of eminent women scientists in the book “*Scientifically Yours - Selected Indian Women Scientists*”. Recently, UNESCO has bought out a book “*A Braided River - The universe of Indian Women in Science*”, summarising current situations and suggestions for future policy [9]. As a part of the 75 year celebration of the independence of India, a book “*She is - Women in STEAM*” showcasing gender, leadership and sustainable development in the fields of STEAM by 75 women scientists and entrepreneurs was brought out by the Red Dot Foundation in partnership with the office of Principal Scientific Advisor, GoI. The collection of motivational videos of interviews of these 75 women scientists are also made available. TheLifeOfScience.com, an independent media initiative formed in 2016, is involved in popularizing the work done by marginalized groups.

Another noteworthy initiative is the Vigyan Vidushi summer school for female students pursuing master’s degrees in physics, organized by the Tata Institute of Fundamental Research (TIFR) [10], one of the leading research institutes in India, with an aim to mentor women at a stage when they are making a career choice. An important component of the school are the interactive mentoring sessions with women physicists, which have been greatly appreciated by the participants. The Indian Institute of technology, Delhi has launched a STEM mentorship programme for schoolgirls, with an aim to encourage girls towards choosing a science career. The primary objectives of the program, designed for Class 11 girl students, are to train young students to think creatively about science and innovation, to provide them novel hand-on experience in solving research problems, and to help them form a stronger knowledge foundation. The website Bias Watch India documents and shares women’s representation in major Indian science conferences/workshops/meetings, and gender-biased panels. Some of the major industries in India have schemes to promote women’s participation in science and they are involved in creating more inclusive environments with infrastructural improvements and community outreach to inspire young female science students.

³ GATI, <http://www.naac.gov.in/images/docs/>

It will be pertinent to ask: how does India compare with the global average and other Asian Countries? According to the data collected by the UNESCO Institute for statistics⁴, the global average of permanent women researchers is 28.4%, while the Indian number for the same is around 13%. Interestingly, there are many Asian countries with a better representation of women researchers than the global average including seven countries where this percentage is greater than 50%.

4 Path ahead

As mentioned earlier, the Hyderabad Charter gives a broad outline of the action path. Data documentation is one of the crucial steps. Studies in India are needed to explore whether our education as well as competitive examinations/tests are gendered. If so, corrective measures to ungender the same need to be thought of. There is a need for programs to provide mentoring support for young faculty members that can help them navigate the tenure process. Funding agencies need to make gender audits mandatory at each institute/university. Best practice training for the community is of paramount importance and efforts will be initiated towards the same. All evaluators should take an implicit bias test beforehand to become aware of their own biases.

⁴ <http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/fs51-women-in-science-2018-en.pdf>

References

- [1] S. Rao, "History of the Working group of Women in Physics in India", *Phys. News*, 51 (1-2) (2021) 77, <https://tinyurl.com/3jh9b96d>
- [2] L. Resmi et al., "Gender status in the Indian physics profession and the way forward", *AIP Conf. Proc.*, 2109 (2019) 050019, <https://doi.org/10.1063/1.5110093>
- [3] "The Launch of an IPA working group on Gender in Physics", *Phys. News*, 47 (2) (2017) 39, <https://tinyurl.com/mrysu2b6>
- [4] A. Kurup, R. Maitrayee, B. Kantharaju, R. Godbole, "Trained scientific women power – how are we losing and why?", IAS-NIAS Research Report 2010.
- [5] S. Goswami et al., "Gender Equity in Physics in India: Interventions, Outcomes, and Roadmap", arXiv:2301.03830, India Country paper in 7th ICWIP held at Melbourne (Australia) 2021.
- [6] S. Goswami, V. Nanal, A report on the Discussion Meeting on Gender Gap in Physics organised by IPA GIPWG, *Phys. News*, 48 (3) (2018) 42.
- [7] P. Shastri, B. Bambah, S. Goswami, V. Nanal, A First-of-its-Kind National Conference Towards Gender Equity by the Indian Physics Association: Pressing for Progress 2019, *Bull. Assoc. Asia Pacific Phys. Soc.*, 29 (6) (2019) 20.
- [8] P. Shastri, The Hyderabad Charter for Gender Equity in Physics 2020, *Bull. Assoc. Asia Pacific Phys. Soc.*, 30 (4) (2020) 50, <https://tinyurl.com/4m99wfxe>
- [9] C. Coley et al., "A Braided river - The Universe of Indian Women in Science" (UNESCO) 2022.
- [10] A. Dighe, A. Mazumdar, V. Nanal, "Vigyan Vidushi 2020", *Phys. News*, 50 (3) (2020) 42, <https://tinyurl.com/4djw2kr5>

The International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) has set up a Working Group (WG5) to identify and resolve issues that hinder the participation of women in physics. The WG5 organises an IUPAP Conferences series on Women in Physics (ICWIP). The 8th conference in this series will be held virtually during 10-14 July 2023 with India as the host country and it will be jointly organised by the GIPWG and the TIFR. The conference will be hosted by the Homi Bhabha Centre for Science Education (HBCSE) – a national centre of TIFR, strongly focused on promoting quality and equity in Science & Mathematics education from primary school to introductory college levels. Organizing ICWIP2023 in India is a unique opportunity to further India's commitment to the cause of promoting women in physics. In addition, many initiatives in the country to support gender equity in science will serve as illustrative examples for developing countries, dealing with the women under-representation in Physics and other STEM disciplines.

The last two decades have seen an overall increase in gender awareness. With various interventions introduced in the last few years, it is expected that the coming decade will see a significant rise in the number of women physicists at PhD and post-PhD level. However, invisible biases, which also lead to sexual/gender harassments, pose a major hurdle and improvements to workplace culture and infrastructure should be given high priority. Needless to say, a lot more concentrated efforts, especially in framing and implementation of policies are essential to achieve equity and move towards gender neutrality in the physics profession.



Vandana Nanal

Vandana is a senior Professor working in experimental, nuclear and accelerator physics, and a joint chair of BARC-TIFR Pelletron Linac Facility. As a General Secretary of Indian Physics Association (IPA) (2018-2022) and member of

its Gender in Physics Working Group (GIPWG) since its inception in 2017, she passionately pursues outreach efforts focussed on promoting gender equity in physics. She is a joint convener of *Vigyan Vidushi* – a summer program for Women Students, to provide mentoring and guidance for career in physics. She was involved in the organisation of the first IPA national gender conference PFP2019.



Srubabati Goswami

Srubabati, a senior Professor, is a theoretical particle physicist. She is a fellow of TWAS and all three national academies of Science in India, and is a member of the IUPAP C11 commission (2017-). She is the current chair of the Gender in

Physics Working Group (GIPWG) under IPA. A member of the GIPWG since 2017, she was the co-chair of the first IPA gender conference PFP2019. She is also a member of the Inter-academy panel of women in STEM in India (2021-). She is playing an active role in fostering gender diversity in the Indian physics profession as well as in championing causes of women in general.

IL NOSTRO MONDO

IL NUOVO CIMENTO 150, 100, 50 ANNI FA

a cura di A. Bettini

150 ANNI FA

Antonio Pacinotti (1841-1912), come il padre Luigi, fu fisico e patriota, combattendo volontario nella seconda guerra di indipendenza a Goito (S. Martino e Solferino). Come ho già ricordato in questa rubrica (Vol. 30, N. 1-2, p. 67, 2014) fu l'inventore nel 1859 della "macchinetta" reversibile, la prima dinamo e il primo motore elettrico a induzione elettromagnetica.

Da "Cassa d'assorbimento per la pila alla Bunsen" di A. Pacinotti, *Il Nuovo Cimento*, Serie II, 10 (1873) 115.

Per alcuni esperimenti nel 1872 gli serviva una corrente assai forte, e pensò di utilizzare elementi alla Bunsen, che però avevano un inconveniente e fui costretto a pensare al modo di evitare gli inconvenienti della abbondante produzione di vapori nitrosi alla quale davan luogo. Collocai i quattro elementi alla Bunsen che mi occorreivano, montati in pila, sopra una tavola sulla quale sparsi molta di quella calce sfiorita che suole aversi dopo gli esperimenti d'elettrostatica, chiudendo tutto con una vecchia cassa capovolta. I reofori sortiron fuori fra la tavola ed il lembo della cassa che riposava sulla calce. Questa cassa contenente la pila rimase nella stanza chiusa per diverse ore fin che la corrente non fu molto indebolita, e tuttavia entrando nella stanza non si avvertiva odore di vapori nitrosi.

Per analizzare i sali che presumibilmente si formavano nella calce per la presenza dell'ossigeno e dell'idrogeno atmosferico fece quindi "qualche esperienza" con l'apparecchiatura in figura 1.

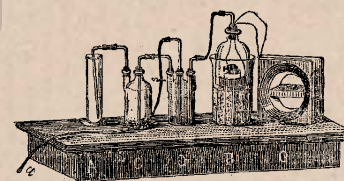


Fig. 1.

100 ANNI FA

Enrico Persico, amico fraterno di Fermi sino dal tempo del liceo, studiò fisica a Roma dove si laureò con Corbino nel 1921. Fu secondo al primo concorso di Fisica teorica in Italia, vinto da Fermi, nel 1926. Questo è un suo lavoro giovanile.

Da "Effetto von Ettingshausen «apparente»" di E. Persico, *Il Nuovo Cimento* Serie VI, 26 (1923) 123.

Se una lamina rettangolare di bismuto, immersa in un campo magnetico ad essa normale, viene percorsa, nel senso della lunghezza, da una corrente elettrica, si genera in essa, come è noto, un gradiente di temperatura nel senso trasversale, attribuito all'azione elettrodinamica del campo magnetico sui corpuscoli convettori dell'elettricità. Tale azione – che costituisce il fenomeno di von Ettingshausen – non è però la sola a produrre il detto gradiente di temperatura: ve ne è un'altra, di natura diversa, che ad essa si sovrappone, e che non se ne può discernere né invertendo il campo, né invertendo la corrente: ci si può persuadere tuttavia della sua esistenza col seguente ragionamento. Supposto che il campo magnetico, nel quale si immerge la lamina, sia uniforme, esso cessa di esserlo non appena nella lamina si lancia la corrente, inquantochè questa genera intorno a sé un campo magnetico che si sovrappone a quello prodotto dall'elettrocalamita, e precisamente, su uno dei bordi della lamina cospira con esso, aumentandone l'intensità, sull'altro invece ha direzione contraria, e quindi lo diminuisce. I due bordi della lamina verranno perciò a trovarsi in regioni di intensità differente e quindi, per una nota proprietà del bismuto, presenteranno alla corrente una diversa resistività: da ciò un diverso effetto Joule, e quindi una differenza di temperatura.

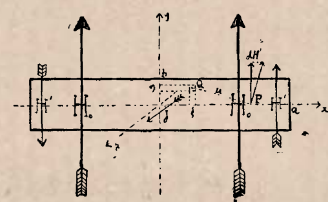


Fig. 2 Sezione trasversale della lamina e grandezze per il calcolo.

50 ANNI FA

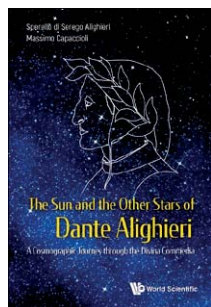
In questa citatissima lettera (1347 citazioni) si dimostra che il comportamento asintotico (cioè ad alta energia) dei fattori di forma elettromagnetici contiene informazioni sulla distribuzione e sulla dinamica dei quark dentro gli adroni. Le regole di conteggio dei quark (*Quark Counting Rules*) qui proposte ebbero grande importanza per comprendere, contemporaneamente all'analisi di Feynman, che il protone è composto di oggetti puntiformi di spin 1/2.

Da "Automodellism in the Large-Angle Elastic Scattering and Structure of Hadrons" di V. A. Matveev, R. M. Muradyan, A. N. Tavkhelidze, *Lett. Nuovo Cimento*, 7 (1973) 719.

In this paper we should like to point to the possibility of revealing a local or pointlike structure of hadrons in pure hadronic reactions of elastic scattering at large momentum transfers. In the framework of the quark model by using the principle of automodellism (cattiva traduzione dal russo, sta per "analisi dimensionale") it is shown that in the limit $-t, s \rightarrow \infty$ at t/s fixed [...] in the general case of two-particle collisions the differential cross-section of large-angle elastic scattering

$a+b \rightarrow a+b$ asintoticamente dipende da s come $s^{-2(n_a+n_b-1)}$, dove n_a e n_b sono i numeri di quark nelle particelle a e b .

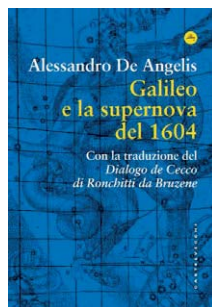
RECENSIONI



Pubblicata online
16 gennaio 2023

**SPERELLO DI SERENO ALIGHIERI,
MASSIMO CAPACCIOLI**
**THE SUN AND THE OTHER STARS
OF DANTE ALIGHIERI**
A COSMOGRAPHIC JOURNEY THROUGH
THE DIVINA COMMEDIA
World Scientific, Singapore, 2022
hardcover: pp. 180, £ 50.00
softcover: £ 25.00
e-book: £ 20.00

Recensito da
P. Caraveo



Pubblicata online
13 aprile 2023

ALESSANDRO DE ANGELIS
GALILEO E LA SUPERNOVA DEL 1604
CON LA TRADUZIONE DEL *DIALOGO*
DE CECCO DI RONCHITTI DA BRUZENE
Frangenti, Castelvevchi, 2022
pp. 129, € 16,50

Recensito da
M. Capaccioli



Pubblicata online
14 aprile 2023

MARCO MARTINI, ANNA GALLI (EDITORS)
**APPLICATION OF MATERIALS SCIENCE
IN THE STUDY OF CULTURAL HERITAGE**
MDPI, Basel, Switzerland, 2022
pp. 106, CHF 55,75

Recensito da
G. Benedek

IN RICORDO DI

Marcella Sanzone



Ancona, 27 febbraio 1937 -
Genova, 4 agosto 2022

Gianni Ricco, Hartmuth Arenhövel

Pubblicato online
16 febbraio 2023

Claudine Abraham-Ricci



Parigi, 3 dicembre 1925 -
Padova, 21 ottobre 2022

Renato Angelo Ricci,
Marco Ricci, Sara Pirrone

Pubblicato online
22 febbraio 2023

Marcello Lattuada



Palermo, 4 febbraio 1949 -
Catania, 27 dicembre 2022

Emilio Migneco, Stefano Romano

Pubblicato online
24 febbraio 2023

Vittorio Giorgio Vaccaro



Napoli, 18 giugno 1941 -
Napoli, 11 febbraio 2023

Caterina Biscari, Iaia Masullo,
Luigi Palumbo

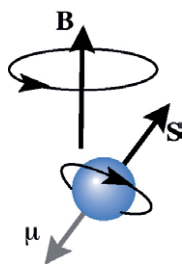
Pubblicato online
31 marzo 2023

LA MASSIMA PRECISIONE

Gerald Gabrielse e collaboratori hanno determinato l'anomalia magnetica ($g-2$) dell'elettrone con accuratezza di 1,3 parti in 10^{13} , misurando le frequenze delle transizioni Zeeman di un singolo elettrone sospeso in una trappola di Penning. Con il calcolo perturbativo sino al decimo ordine, si ha un test del Modello Standard ad una parte su 10^{12} , limitato dall'attuale discrepanza tra due misure della costante di struttura fine.

X. Fan et al., *Measurement of the electron magnetic moment*, Phys. Rev. Lett., 130 (2023) 071801.

The electron magnetic moment, $-\mu/\mu_B = g/2 = 1.001\,159\,652\,180\,59\, (13)$ [0.13 ppt] is determined 2.2 times more accurately than the value that stood for fourteen years. The most precisely determined property of an elementary particle tests the most precise prediction of the standard model (SM) to 1 part in 10^{12} . The test would improve an order of magnitude if the uncertainty from discrepant measurements of the fine structure constant α is eliminated since the SM prediction is a function of α . The new measurement and SM theory together predict $\alpha^{-1} = 137.035\,999\,166\, (15)$ [0.11 ppb] with an uncertainty 10 times smaller than the current disagreement between measured α values.



Precessione dell'elettrone.

POLIGONI DI SALE

Un sito d'attrazione turistica nella Valle della Morte in California è il Badwater Basin, un candido piano coperto da poligoni di sale come nella figura. L'acqua che fluisce nel sottosuolo proveniente dai monti vicini quando raggiunge la superficie evapora rapidamente. I ricercatori hanno sviluppato, e testato, un modello che spiega i poligoni come superfici terminali di celle convettive sottostanti, lungo gli assi centrali delle quali acqua dolce sale, nelle pareti acqua salata scende. Il modello rende conto sia delle dimensioni dei poligoni sia dei bordi salini.

Jana Lasser et al., *Salt polygons and porous media convection*, Phys. Rev. X, 13 (2023) 0110251.

Here, we investigate the origins of polygonally patterned crusts of salt playa and salt pans. These beautifully regular features, approximately a meter in diameter, are found worldwide and are fundamentally important to the transport of salt and dust in arid regions. We show that they are consistent with the surface expression of buoyancy-driven convection in the porous soil beneath a salt crust. By combining quantitative results from direct field observations, analog experiments, and numerical simulations, we further determine the conditions under which salt polygons should form, as well as how their characteristic size emerges.



Badwater Salt Flats at twilight. Credit: Dave Toussaint
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Badwater_Salt_Flats_at_Twilight.jpg

CORRELAZIONE QUANTISTICA DI IONI DISTANTI

Gli autori hanno realizzato un sistema di due ioni $^{40}\text{Ca}^+$ "correlati (entangled)", localizzati in due edifici diversi dell'Università di Innsbruck, distanti in linea d'aria 230 m. Gli ioni si trovano ciascuno in una trappola di Paul e cavità ottica. In ciascuna, un impulso laser con due frequenze eccita lo ione che successivamente emette un fotone. La polarizzazione di questo dipende da quale frequenza lo ione ha assorbito, il che rende il fotone e lo stato finale dello ione correlati. Uno dei due fotoni è trasportato su fibra ottica a un beam splitter vicino all'altro ione, dove i due fotoni interferiscono correlando gli ioni.

V. Krutyanskiy et al., *Entanglement of trapped-ion qubits separated by 230 meters*, Phys. Rev. Lett., 130 (2023) 050803.

We report on an elementary quantum network of two atomic ions separated by 230 m. The ions are trapped in different buildings and connected with 520(2) m of optical fiber. At each network node, the electronic state of an ion is entangled with the polarization state of a single cavity photon; subsequent to interference of the photons at a beam splitter, photon detection heralds entanglement between the two ions.

SPECCHIO DEL TEMPO

Un'onda luminosa viene riflessa da uno specchio, che è una brusca discontinuità spaziale dove il momento si inverte e la frequenza si conserva. Riflessione temporale avviene ad una brusca discontinuità temporale, quando le proprietà ottiche del mezzo cambiano omogeneamente in tutto lo spazio. La frequenza cambia, il momento si conserva. Ma ciò deve avvenire in un intervallo di tempo abbastanza breve rispetto alla dinamica della luce. Ricercatori di New York ci sono riusciti in un "microwave transmission line metamaterial (TLM)".

H. Moussa et al., *Observation of temporal reflection and broadband frequency translation at photonic time interfaces*, Nat. Phys. (2023)
<https://doi.org/10.1038/s41567-023-01975-y>

Time reflection is a uniform inversion of the temporal evolution of a signal, which arises when an abrupt change in the properties of the host material occurs uniformly in space. At such a time interface, a portion of the input signal is time reversed, and its frequency spectrum is homogeneously translated as its momentum is conserved, forming the temporal counterpart of a spatial interface. Combinations of time interfaces, forming time metamaterials and Floquet matter, exploit the interference of multiple time reflections for extreme wave manipulation, leveraging time as an additional degree of freedom. Here we report the observation of photonic time reflection and associated broadband frequency translation in a switched transmission-line metamaterial whose effective capacitance is homogeneously and abruptly changed via a synchronized array of switches.

physicsworld | jobs

Discover what's out there

Take the next step in your career
with *Physics World Jobs*.

physicsworld.com/jobs



physicsworld

careers

**Career opportunities
for those with a background in
physics and related subjects**

Brought to you by *Physics World*, this
bumper-sized book is packed with helpful
careers advice, real-life case studies, as well
as an extensive employer directory.

Read the 2023 edition online at
physicsworld.com/careers



DOMANDA DI ISCRIZIONE alla SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

ITALIAN PHYSICAL SOCIETY MEMBERSHIP APPLICATION FORM

Nome _____
Name

Cognome _____
Surname

Luogo e data di nascita _____
Place and date of birth

Nazionalità _____
Nationality

a Istituto o Ente di appartenenza _____
Affiliation

b Indirizzo privato _____
Home address

Indirizzo e-mail _____
E-mail

Breve curriculum (titolo di studio, attività didattica e scientifica): _____
Brief scientific curriculum:

Indirizzo a cui inviare il Bollettino della Società e la corrispondenza:
Address where Bulletin and Society communications are to be sent:

a

b

Firme leggibili dei Soci Presentatori (*)
Signatures of two introducing Members

Nomi in stampatello e indirizzi e-mail
Names in block letters and e-mail addresses

1) _____

2) _____

- | | |
|---|-----------------------------------|
| ☐ Socio INDIVIDUALE
INDIVIDUAL Member | € 50,00 ☐ |
| ☐ Socio JUNIOR al di sotto dei 30 anni (pagamento annuale)
JUNIOR Member under 30 (one year payment) | € 30,00 ☐ |
| ☐ Socio JUNIOR al di sotto dei 30 anni (pagamento triennale)
JUNIOR Member under 30 (three year payment) | € 75,00 ☐ |
| ☐ Socio SENIOR al di sopra dei 70 anni
SENIOR Member over 70 | € 40,00 ☐ |
| ☐ Socio INDIVIDUALE anche membro di altre associazioni scientifiche italiane relative alla fisica (*)
INDIVIDUAL Member also member of other Italian scientific associations (*) | € 40,00 ☐ |
| ☐ Socio COLLETTIVO
COLLECTIVE Member | € 300,00 ☐ |
| ☐ Socio SOSTENITORE (a partire da)
SPONSORING Member (starting from) | € 350,00 ☐ |

La quota di iscrizione dovrà essere pagata dopo aver ricevuto comunicazione dell'accettazione della domanda. ()*
Applicants will have to pay the membership dues only AFTER having been informed by the Society of the acceptance of their application. ()*

(*) Informazioni: <https://www.sif.it/associazione>

(*) Information: <https://en.sif.it/association>

Data _____
Date

Firma _____
Signature

Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del D.Lgs. 196/2003
I hereby authorize the treatment of my personal data according to the privacy law D.Lgs. 196/2003
sì /yes ☐ no ☐

Società Italiana di Fisica
Via Saragozza 12 - 40123 Bologna
Tel. 051331554 - Fax 051581340 - e-mail: sif@sif.it - internet: <https://www.sif.it>

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Per diventare Socio SIF:

Informazioni: <https://www.sif.it/associazione>

Quote sociali della Società Italiana di Fisica

- | | | |
|--|----------|--------------------------|
| ☐ Socio Individuale | € 50,00 | ☐ |
| ☐ Socio Junior al di sotto dei 30 anni (pagamento annuale) | € 30,00 | ☐ |
| ☐ Socio Junior al di sotto dei 30 anni (pagamento triennale) | € 75,00 | ☐ |
| ☐ Socio Senior al di sopra dei 70 anni | € 40,00 | ☐ |
| ☐ Socio Individuale anche membro di altra associazione scientifica italiana relativa alla fisica (*) | € 40,00 | ☐ |
| ☐ Socio Collettivo | € 300,00 | ☐ |
| ☐ Socio Sostenitore (a partire da) | € 350,00 | ☐ |
| ☐ Socio Invitato (*) - primo anno di pagamento (quota SIF) | € 15,00 | ☐ |
| ☐ Socio Invitato (*) - primo anno di pagamento (quota SIF+EPS) | € 25,00 | ☐ |

(*) Informazioni: <https://www.sif.it/associazione>

Per diventare Socio EPS:

Informazioni: <https://www.eps.org/subscribe>

Quote sociali della Società Europea di Fisica per "Individual membership"

- | | | |
|--|---------|--------------------------|
| ☐ Socio | | |
| ☐ Socio al di sotto dei 30 anni | € 27,50 | ☐ |
| ☐ Socio in pensione | € 20,00 | ☐ |
| ☐ Studente | € 20,00 | ☐ |
| ☐ Insegnante (pre-universitario) | € 20,00 | ☐ |
| | € 20,00 | ☐ |

Modalità di pagamento della quota sociale alla SIF:

- ☐ online a mezzo carta di credito, tramite collegamento diretto e sicuro (POS) con la banca BNL, attraverso l'Area Soci del sito web della Società Italiana di Fisica
- ☐ a mezzo bonifico:
BancoPosta, IBAN IT14 G076 0102 4000 0001 9197 409 (dall'estero BIC/SWIFT BPPIITRRXXX)
intestato a: Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F.
- ☐ a mezzo versamento sul c/c postale n. 19197409
intestato a: Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F.
- ☐ a mezzo carta di credito, tramite la Società Italiana di Fisica, compilando e spedendo il modulo sottostante (**)

(**) In questo caso sono escluse le carte Diners e American Express.

Compilare e spedire a : **Società Italiana di Fisica – Via Saragozza 12 – 40123 Bologna – fax 051 581340**

Il sottoscritto: _____

Nato a: _____ il _____

Residente a: _____

Via: _____ n. _____

Documento di riconoscimento: _____ n. _____

Rilasciato da: _____ il _____

Titolare carta di credito **VISA** n. _____

Scadenza _____

Titolare carta di credito **MASTERCARD** n. _____

Scadenza _____

AUTORIZZA

La Società Italiana di Fisica

A prelevare dalla carta di credito sopra descritta

L'importo di € _____ (_____)
(importo in cifre) (importo in lettere)

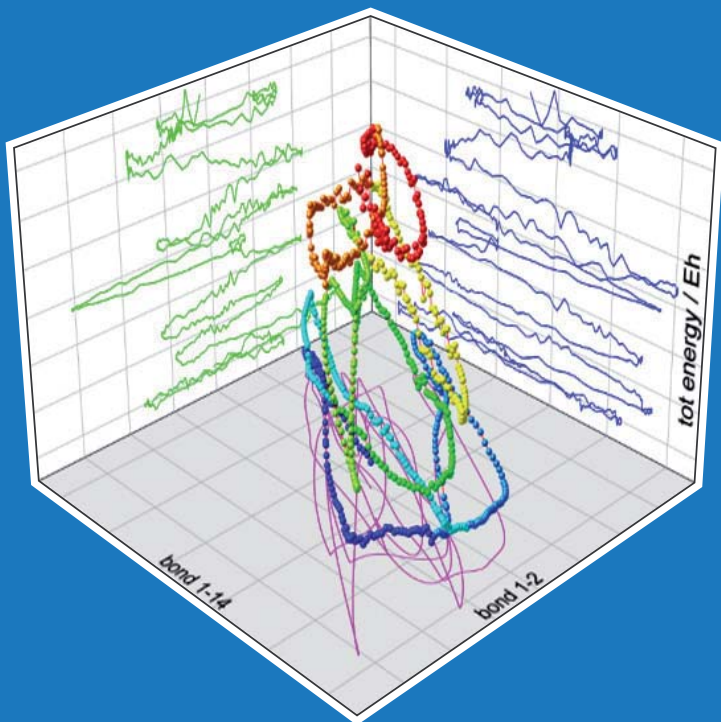
per il rinnovo della quota sociale per l'anno _____

Data _____

Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del D.Lgs. 196/2003

sì ☐ no ☐

_____ Firma



www.adalta.it/OriginPro ►



**Il miglior software per l'Analisi di dati
e la Grafica scientifica**

I ricercatori necessitano di strumenti di analisi e di grafica molto potenti e intuitivi che possano interagire con i loro dati e creare report personalizzati.

Origin Pro è sviluppato per soddisfare le necessità di scienziati e tecnici fornendo la più ampia gamma di strumenti per:

- Importare, interrogare, connettere
- Rappresentare, esaminare
- Ridurre, sintetizzare, analizzare
- Pubblicare, presentare



**WOLFRAM
TECHNOLOGIES**

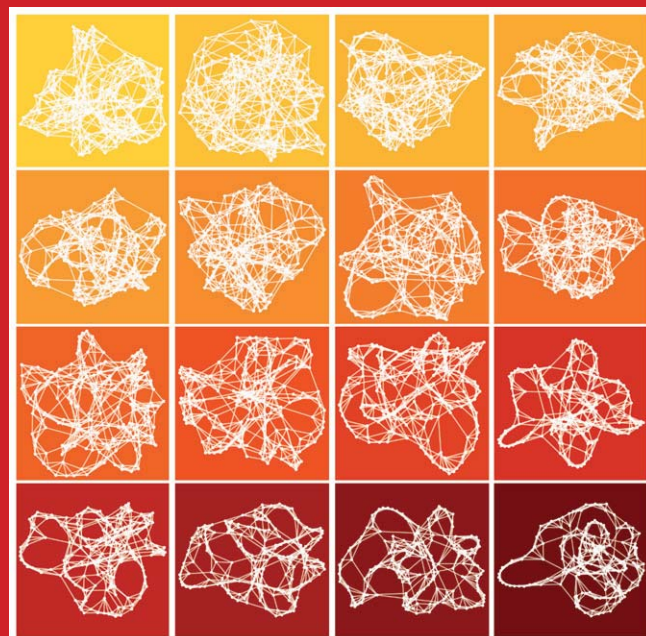
La soluzione definitiva per
la ricerca e lo sviluppo

Le Tecnologie Wolfram offrono un ambiente di sviluppo in cui la computazione è pienamente integrata nell'intero flusso di lavoro.

La punta di diamante dei software Wolfram è Mathematica che dal 1988 è rinomato per essere il miglior programma al mondo per ogni tipo di calcolo.

Mathematica guida l'utilizzatore dall'idea iniziale fino allo sviluppo di soluzioni che siano individuali o su larga scala.

Mathematica integra la più grande collezione al mondo di algoritmi, capacità di calcolo ad alte prestazioni e un potente motore di visualizzazione in un sistema coerente e semplice da usare.



www.adalta.it/Wolfram ►

ADALTA
SOFTWARE PER L'INNOVAZIONE

0575.333297 | www.adalta.it



New Products Selection 2023 is out!



CAEN S.p.A.
Italy

CAEN GmbH
Germany

CAEN Technologies, Inc.
USA



CAENspa INDIA Ltd.
India

