

Mariaelena Fedi¹, Pier Andrea Mandò^{1,2}

Il LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i BENi Culturali)

The LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l'Ambiente e i BENi Culturali - Laboratory of Nuclear Techniques for the Environment and Cultural Heritage)

¹ INFN Sezione di Firenze

² Dipartimento di Fisica e Astronomia Università di Firenze

Riassunto. Sono presentate la storia e le attività del LABEC, dai primi lavori svolti all'acceleratore KN3000 presso il Garbasso, al trasferimento nella nuova sede di Sesto Fiorentino con l'installazione del nuovo acceleratore, fino ad oggi.

Parole chiave. Tecniche nucleari, beni culturali, ambiente.

Le origini

A Firenze, attività di fisica nucleare applicata sono iniziate a metà degli anni Ottanta. Per introdurle “storicamente” occorre però tornare agli anni Cinquanta, quando ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN si progettò e costruì il primo acceleratore installato in Italia: un elettrosincrotrone, che richiedeva un

Abstract. The history and activities of the LABEC are presented, from the first work carried out on the KN3000 accelerator at the Garbasso building, to the move to the new site in Sesto Fiorentino with the installation of the new accelerator, to the present day.

Keywords. Nuclear techniques, cultural heritage, environment.

The origins

Applied nuclear physics activities began in Florence in the mid-1980s. To introduce them “historically”, however, we have to go back to the 1950s, when the INFN's National Laboratories in Frascati designed and built the first accelerator installed in Italy: an electrosynchrotron, which required a 3 MV Van de Graaff injector. The electrosynchrotron was decommissioned towards the end of the 1960s, and the Florentine nuclear scientists succeeded in having the



Van de Graaff da 3 MV come iniettore. L'elettrosincrotrone fu poi dismesso verso la fine degli anni Sessanta, e i nucleari fiorentini riuscirono a far trasferire il Van de Graaff al Garbasso, utilizzandolo per misure di spettroscopia nucleare dopo averlo convertito, con un lungo e radicale lavoro di trasformazione, in un “nuovo” acceleratore di ioni positivi (KN3000). Successivamente, il KN3000 fu potenziato per effettuare un importante esperimento di fisica delle interazioni fondamentali (ricerca di violazioni di parità nei nuclei per indagare l'effetto delle correnti deboli neutre nelle interazioni adroniche).

Verso la metà degli anni Ottanta, il KN3000, pur in ottima forma anche grazie alle migliorie apportate per condurre gli esperimenti accennati, iniziava però ad essere obsoleto per misure di fisica nucleare di base. E qui cominciò l'avventura che poi sfocerà nella creazione del Labec (Mandò, 2013; Mandò, 2014).

Il Van de Graaff fu fatto rinascere infatti a una “terza vita” utilizzandolo per attività di ricerca applicata. Anche in altri laboratori nel mondo, con macchine simili, stavano affermandosi le tecniche di *analisi con fasci di ioni* (IBA, Ion Beam Analysis), con le quali si poteva ottenere la composizione di materiali, in maniera completa e non distruttiva, rivelando raggi X, gamma o particelle, di energia caratteristica, emesse irraggiandoli coi fasci accelerati. In particolare, fra le IBA, la tecnica più utilizzata era, come ancora oggi, la PIXE (Particle Induced X-ray Emission). Le nostre prime applicazioni riguardarono l'analisi di composizione del particolato atmosferico (il ben noto PM), di cui non basta misurare la quantità totale, come facevano e fanno le famose “centraline”; è essenziale determinarne anche la composizione, soprattutto per risalire alle sorgenti dell'inquinamento

Van de Graaff transferred to the Garbasso building, where it was used for nuclear spectroscopy measurements, after lengthy and radical conversion into a “new” positive ion accelerator (KN3000). The KN3000 was subsequently upgraded to perform an important experiment in the physics of fundamental interactions (the search for parity violations in nuclei to investigate the effect of weak neutral currents in hadronic interactions).

Towards the middle of the 1980s, despite being in excellent condition thanks to the improvements made to conduct the experiments mentioned above, the KN3000 was starting to become obsolete for the performance of basic nuclear physics measurements. And here began the adventure that would later lead to the creation of the Labec (Mandò, 2013; Mandò, 2014).

The Van de Graaff was revived for a “third life” and used for applied research. In other laboratories around the world, with similar machines, ion beam analysis techniques (IBA, Ion Beam Analysis) were also gaining ground, making it possible to obtain the complete and non-destructive composition of materials by detecting X-rays, gamma rays or particles of characteristic energy, emitted by irradiating them with accelerated beams. Among the IBAs, PIXE (Particle Induced X-ray Emission) was the most widely used technique, as it is today. Our first applications concerned the analysis of the composition of atmospheric particulate (commonly known as PM). Measuring the total quantity of PM, as the famous “pollution monitoring stations” did and still do, was not sufficient; it was also essential to determine its composition, particularly in order to trace the sources of atmospheric pollution, each of which is characterised by a different compositional pattern.

atmosferico, caratterizzate ciascuna da un diverso pattern compositazionale.

Ma essendo a Firenze, il nostro interesse non poteva non indirizzarsi anche alle analisi di materiali nel campo dei beni culturali. Scoprire i materiali utilizzati per la produzione delle opere è importante per la conoscenza storica di quanto era disponibile e delle "tecnologie di produzione" nel passato, fino a fornire in certi casi anche elementi utili per la loro attribuzione. Ed è forse di ancor maggiore importanza come conoscenza preliminare agli interventi conservativi: l'informazione su quali materiali originali si andrà ad operare è fondamentale per le scelte operative di tecniche e materiali da utilizzare oggi nell'intervento.

E poiché nel campo dei beni culturali un requisito fondamentale delle tecniche di analisi è quello della non invasività e non distruttività, le tecniche IBA, che lavorando nelle giuste condizioni di misura hanno queste caratteristiche, si presentavano come ideali. Ovviamente occorre operare in queste condizioni di sicurezza. Noi ad esempio iniziammo subito a utilizzare fasci "esterni", cioè estratti dalle linee di vuoto dell'acceleratore, mantenendo così in atmosfera l'opera da analizzare.

Dopo aver fatto numerosi rassicuranti test su dipinti o altri tipi di opere possedute personalmente, progressivamente, nel corso degli anni Ottanta, acquisimmo la fiducia di un numero sempre maggiore di "clienti". Fra i primi, colleghi codicologi che studiavano manoscritti medievali e rinascimentali, insieme ai quali furono analizzati inchiostri e tempere di miniature di codici della Biblioteca Vaticana, della Laurenziana e di altre collezioni.

In seguito, in collaborazione con l'Istituto e Museo di Storia della Scienza

But being in Florence, our interest was obviously focused on the analysis of materials in the field of cultural heritage. Discovering the materials used in the creation of this heritage is important to the historical knowledge of what was available and of the "production technologies" used in the past. In some cases, it even provides elements useful for the attribution of a work. And it is perhaps even more important as preliminary knowledge for conservative interventions: information on which original materials had been used is crucial to the operational choices of techniques and materials to be used today.

And as an essential requirement of analysis techniques in the field of cultural heritage is non-invasiveness and non-destructiveness, IBA techniques, which have these characteristics when working under the right measurement conditions, were ideal. Obviously, it was necessary to operate under these safe conditions. We immediately started to use "external" beams, extracted from the vacuum lines of the accelerator, maintaining the work to be analysed in air.

Having carried out numerous reassuring tests on paintings or other works owned by us, we gradually gained the trust of an increasing number of "clients" during the 1980s. The first included codicologists studying medieval and Renaissance manuscripts, with whom we analysed inks and temperas in illuminated manuscripts from the Vatican Library, the Laurentian Library and other collections.

Subsequently, in collaboration with the Istituto e Museo di Storia della Scienza (now the Museo Galileo), an extensive campaign was undertaken to analyse Galileo's notes on the problems of "natural motion", kept at the Biblioteca Nazionale in Florence. We were able to

(oggi Museo Galileo), fu svolta una estesa campagna di analisi degli appunti di Galileo sui problemi del “moto naturale”, conservati alla Biblioteca Nazionale di Firenze, riuscendo a ricostruire l’ordine cronologico di alcuni degli appunti non datati grazie al confronto della composizione degli inchiostri con quella di altri scritti di Galileo di data certa (ad es. lettere).

Un incontro determinante per consolidare la nostra buona reputazione anche a livello internazionale nel campo delle analisi di materiali per i beni culturali fu poi negli anni Novanta quello con gli storici dell’arte e i restauratori dell’Opificio delle Pietre Dure, con i quali la collaborazione è tuttora molto intensa. Grazie all’OPD, già nel periodo in cui lavoravamo col KN3000 al Garbasso furono analizzate opere di grande importanza, tra cui un dipinto di Leonardo, terrecotte invetriate robbiane, disegni e altre opere di famosi artisti rinascimentali.

I risultati ottenuti in questi anni ebbero vasta risonanza, e per potenziare queste attività l’INFN finanziò nel 2000 l’acquisto di un più moderno acceleratore da installare al Polo di Sesto Fiorentino, dove l’Università stava costruendo un ampio edificio dedicato proprio ad ospitare strumentazione per applicazioni di tecniche nucleari.

Il KN3000 cessò quindi definitivamente di lavorare nel 2003, ed è rimasto qui, nei vecchi locali. Ma tra poco avrà una “quarta vita”: grazie a un generoso contributo della Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze, a finanziamenti dell’Università e dell’INFN, e all’instancabile lavoro di regista di Giacomo Poggi, i locali saranno restaurati e riadattati e l’acceleratore diventerà una installazione “museale-didattica” del futuro parco scientifico di Arcetri.

reconstruct the chronological order of some of the undated notes by comparing the composition of the inks with that of other writings by Galileo of a known date (letters, for example).

Meeting in the 1990s the art historians and restorers of the Opificio delle Pietre Dure, with whom we still collaborate intensively, was decisive in consolidating our international reputation in the field of analysing cultural heritage materials. Thanks to the OPD, since when we were working with the KN3000 at the Garbasso building, works of outstanding importance, including a painting by Leonardo, works in glazed terracotta by the Della Robbia’s, drawings and other works by famous Renaissance artists, were analysed.

The results obtained resonated on a vast scale and, to strengthen the activities, in 2000 the INFN financed the purchase of a more modern accelerator to be installed at the Polo Scientifico in Sesto Fiorentino, where the University was building a large construction to house instrumentation for nuclear applications.

The KN3000 was decommissioned in 2003 and remained here, at the old premises. However, it is soon to have a “fourth life”. Thanks to a generous contribution from the Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze, funding from the University and the INFN, and the tireless direction of Giacomo Poggi, the premises are going to be restored and refurbished, and the accelerator will become an “educational museum” installation in the future Arcetri science park.

Le attività dai primi anni 2000 ad oggi

Il LABEC, come è configurato oggi (Chiari, 2021 e referenze incluse), nasce formalmente proprio col trasferimento del gruppo di fisica nucleare applicata dal Garbasso alla nuova sede di Sesto e con l'installazione del nuovo acceleratore che, per le sue caratteristiche, permetteva sia di dare continuità alle attività già avviate al KN3000 sia di ampliarle con altre tecniche nucleari.

Il nuovo acceleratore (Figura 1), la cui installazione fu completata nel 2004, è un acceleratore elettrostatico di tipo tandem, con una tensione massima di terminale di 3 MV. Sono presenti tre sorgenti di ioni: due del tipo a sputtering, che permettono di estrarre ioni dagli atomi di praticamente qualunque materiale in forma solida, una di tipo "duoplasmatron", che sfrutta elementi in forma gassosa e consente in particolare di avere sul target fasci di protoni o particelle alfa.

Ad oggi, 6 sono i canali di misura installati, con la possibilità di utilizzare set-up sperimentali ognuno specificamente pensato per applicazioni differenti.

Un canale è dedicato alle misure di Accelerator Mass Spectrometry (AMS), tecnica che consente di misurare l'abbondanza relativa di isotopi rari con altissima sensibilità selettiva in campioni di massa al più di qualche milligrammo. Al LABEC, la principale applicazione della AMS è la misura della concentrazione di ^{14}C (radiocarbonio) in campioni organici e inorganici. Tali misure trovano applicazione sia per la datazione di reperti nel campo dei beni culturali, dell'archeologia e delle scienze della terra, sia per lo studio delle diverse sorgenti di emissione della componente carboniosa del particolato (PM) in problematiche ambientali.

Activities from the early 2000s to the present day

LABEC, as configured today (Chiari, 2021 and references included), was formally established with the transferral of the applied nuclear physics group from the Garbasso building to the new site in Sesto and with the installation of the new accelerator, the characteristics of which allowed both continuity of the activities already begun with the KN3000 and their expansion with other nuclear techniques.

The installation of the new accelerator (Figure 1) was completed in 2004. This is a tandem electrostatic accelerator with a maximum terminal voltage of 3 MV. There are three ion sources: two sputtering sources, which make it possible to extract ions from the atoms of practically any solid material, and one "duoplasmatron" source, which uses elements in gaseous form and permits the irradiation of the target with beams of protons or alpha particles.

Six measurement channels have been installed to date, with the possibility of using experimental set-ups, each specifically designed for different applications.

One channel is dedicated to Accelerator Mass Spectrometry (AMS) measurements, a technique that allows the measurement of the relative abundance of rare isotopes with very high selective sensitivity in samples with masses of a few milligrams at the most. At the LABEC, the main application of AMS is the measurement of the concentration of ^{14}C (radiocarbon) in organic and inorganic samples. These measurements are used both for dating artefacts in the field of cultural heritage, archaeology and earth sciences, and for studying the various emis-



Figura 1. Sala sperimentale (35x15 m²) che ospita l'acceleratore tandem del LABEC. In primo piano la sezione a bassa energia con le sorgenti di ioni.

Figure 1. Experimental room (35x15 m²) housing the LABEC's tandem accelerator, with the low-energy section with the ion sources in the close-up.

sion sources of the carbonaceous component of particulate matter (PM) in environmental issues.

Four channels are dedicated to IBA measurements, each with a different channel set-up, optimised for specific activities:

- multipurpose vacuum chamber;
- external beam for cultural heritage measurements;
- external beam for PM measurements;
- external microbeam, generated by strong focusing, with a beam size on the target that can be reduced to about ten microns.

A last measurement channel uses an accelerated beam deflection system to generate a pulsed beam, used mainly for detector testing, material science applications and implantation.

Ancillary laboratories that were essential to the accelerator's activities were set up since the beginning, upgrading them constantly. These laboratories are mechanical and electronic laboratories, a laboratory for the management of PM samplers and the compositional characterisation of its carbonaceous components, and one for the preparation of samples for ¹⁴C measurements.

The intense R&D activity has also contributed not only to improving the experimental set-ups of the accelerator – for example with the integration of several detectors, each for the various “products” of the beam-target interactions, on the cultural heritage channel, and with the optimisation for high counting rates of the set-up for PM measurements – but also to developing innovative instrumentation to overcome some of the limitations of the technologies used on

Quattro canali sono dedicati a misure IBA, ognuno con un set-up di fondo canale diverso, ottimizzato per specifiche attività:

- camera “multipurpose” in vuoto;
- fascio esterno per misure su beni culturali;
- fascio esterno per misure sul PM;
- microfascio esterno, prodotto tramite focheggiamento forte, con dimensioni sul bersaglio riducibili a una decina di micron.

Un altro canale di misura, infine, grazie a un sistema di deflessione del fascio accelerato produce un fascio pulsato, utilizzato soprattutto per test di rivelatori, per applicazioni di scienza dei materiali e per impiantazioni.

Al LABEC sono stati allestiti fin da subito laboratori ancillari fondamentali per le attività dell'acceleratore, nel seguito costantemente aggiornati: laboratori di meccanica ed elettronica, un laboratorio per la gestione dei campionatori del PM e la caratterizzazione composizionale delle sue componenti carboniose, e uno di preparazione campioni per misure di ^{14}C .

L'intensa attività di R&D ha poi contribuito non solo a migliorare sempre di più i set-up sperimentali dell'acceleratore – ad esempio, l'integrazione di più rivelatori, ognuno per i vari “prodotti” delle interazioni fascio-bersaglio al canale per i beni culturali, e l'ottimizzazione per alti ritmi di conteggio del set-up per misure sul PM – ma anche a sviluppare strumentazione innovativa per superare alcuni limiti delle tecnologie sfruttate all'acceleratore. Possiamo qui citare MACHINA (Movable Accelerator for Cultural Heritage In-situ Non destructive Analysis), un progetto finanziato dal MUR nell'ambito del programma FISIR, in collaborazio-

the accelerator. We can mention MACHINA (Movable Accelerator for Cultural Heritage In-situ Non-destructive Analysis), a project funded by the MUR as part of the FISIR programme, in collaboration with KT CERN and Opificio delle Pietre Dure, which is building an innovative 2 MeV transportable proton accelerator. The main limitation of IBA techniques, especially when dealing with cultural heritage, is currently represented by the immovability of the accelerator, which makes it necessary to bring any material to be analysed to the laboratory. By exploiting acceleration through resonant cavities, MACHINA will be portable, making it suitable for use in museums and restoration centres.

Again, with a view to the portability of the analysis instrument, the LABEC has developed equipment that exploits X-ray Fluorescence (XRF), which makes it possible to study the elemental composition of materials thanks to the detection of X-rays, as in PIXE; in XRF, the ionisation followed by X-emission is induced by primary electromagnetic radiation through the photoelectric effect, rather than by the interactions of ions. Portable XRF instruments have been developed over the years, with very good sensitivity even to low-Z elements ($Z \geq 11$), which also allow the acquisition, by scanning, of element distribution maps with a spatial resolution as low as $\sim 2\text{-}300 \mu\text{m}$. The latest generation of XRF scanners has also been designed and manufactured with a rangefinder that continuously measures the distance between the measuring head and the object being scanned to keep it constant when scanning large areas. These scanners are extremely versatile and are widely used, especially when it is necessary to work on-site. Examples of use are the numerous XRF campaigns on works – some of which large – restored at

ne con KT CERN e Opificio delle Pietre Dure, che sta realizzando un innovativo acceleratore di protoni da 2 MeV trasportabile. Il principale limite delle tecniche IBA, soprattutto quando si parla di patrimonio culturale, è infatti attualmente rappresentato dalla inamovibilità dell'acceleratore, che rende necessario portare in laboratorio qualunque materiale da analizzare. Sfruttando l'accelerazione tramite cavità risonanti, MACHINA avrà caratteristiche tali da poter essere portato e utilizzato nei musei e nei centri di restauro.

Sempre nell'ottica della portabilità dello strumento di analisi, al LABEC si sono realizzati apparati che sfruttano la X-ray Fluorescence (XRF), che permette di studiare la composizione elementale dei materiali grazie alla rivelazione dei raggi X, come la PIXE; nella XRF la ionizzazione a cui segue l'emissione X è indotta da radiazione elettromagnetica primaria per effetto fotoelettrico, anziché dalle interazioni con ioni. Negli anni, sono stati sviluppati strumenti XRF portatili, con un'ottima sensibilità anche agli elementi di basso Z ($Z \geq 11$), che permettono tramite scansione anche di acquisire mappe di distribuzione degli elementi con una risoluzione spaziale anche solo di $\sim 2\text{-}300 \mu\text{m}$. L'ultima generazione di scanner XRF è stata progettata e realizzata anche con un telemetro che rileva continuamente la distanza fra la testa di misura e l'oggetto analizzato per mantenerla costante durante la scansione di superfici estese. Questi scanner sono estremamente versatili e trovano ampia applicazione soprattutto quando è necessario operare in-situ. Ne sono esempio le numerose campagne XRF su opere – anche di grandi dimensioni – in restauro presso l'OPD, fra cui l'Adorazione dei Magi di Leonardo, oppure su strutture murarie e architettoniche come gli scavi di Pompei.

the OPD, including Leonardo's Adoration of the Magi, or on masonry and architectural structures such as the excavations in Pompeii.

Again, with regard to R&D, we can mention the constant developments made in radiocarbon measurements, such as the new set-up for the measurement of ultra-small samples (around 50 μg of carbon) or the studies on new processes for the extraction of the datable component in complex matrix materials such as mortar.

Intense technological research and development work has always naturally accompanied the applications. In the environmental field, there have been numerous campaigns to measure the composition of PM collected on thousands of daily filters and even with hourly resolution, both in urban contexts (not only in Italy, but also in Spain, Portugal, the UK, Poland, India, China and Japan) and in remote contexts such as Ny-Alesund, in the Svalbard Islands, and Antarctica. As far as applications to Cultural Heritage are concerned, in addition to that said above about XRF, there are also the IBA analyses on the Trivulzio Portrait by Antonello da Messina, on works by Mantegna, Giorgio Vasari, Raphael, and the hundreds of datings of both works of art and archaeological finds.

The "production" of such a large amount of data has also contributed to the development of the need to think of new ways of storing, managing and reusing such data, stimulating research in the digital field. LABEC researchers have taken part in major European initiatives such as EOSC_Pillar and Ariadne+, projects that study how to make data available to the archaeological community according to FAIR principles (Findable, Accessible, Interoperable

Sempre a proposito di R&D si possono infine citare i costanti sviluppi che sono portati avanti per le misure di radiocarbonio, come il nuovo set-up di preparazione per la misura di campioni di piccolissima massa (dell'ordine di 50 µg di carbonio) oppure gli studi su nuovi processi di estrazione della componente databile in materiali di matrice complessa come le malte.

L'intenso lavoro di ricerca e sviluppo tecnologici si è sempre poi naturalmente affiancato alle applicazioni. Ricordiamo, in campo ambientale, le moltissime campagne di misura della composizione del PM raccolto su migliaia di filtri giornalieri oppure anche con risoluzione oraria sia in contesti urbani (oltre che in Italia, in Spagna, Portogallo, Regno Unito, Polonia, India, Cina, Giappone) sia in contesti remoti come Ny-Alesund, alle Isole Svalbard, o in Antartide. Per quanto riguarda le applicazioni ai Beni Culturali, oltre a quanto detto sopra per l'XRF, citiamo le analisi IBA sul Ritratto Trivulzio di Antonello da Messina, su opere di Mantegna, Giorgio Vasari, Raffaello, e le centinaia di datazioni sia di opere d'arte che di reperti archeologici.

La "produzione" di una grande mole di dati ha contribuito anche a far nascere l'esigenza di pensare a nuovi modi di *storing*, gestione e riutilizzo di tali dati, stimolando quindi la ricerca in campo digitale con la partecipazione dei ricercatori del LABEC a iniziative importanti nel panorama europeo come EOSC_Pillar e Ariadne+, progetti che studiano proprio come rendere disponibili alle comunità per esempio degli archeologi i dati secondo i principi FAIR (Findable, Accessible, Interoperable e Re-usable). Oltre alla partecipazione ai due progetti sopra indicati, a livello europeo l'INFN col LABEC è capofila di 4CH, che ha il fine di

and Re-usable). In addition to its participation in the two above-mentioned projects, at European level the INFN, with the LABEC, is the leader of 4CH, which aims to organise, design and implement a Centre of Expertise for the preservation and conservation of sites and monuments using the most advanced ITC technologies. Other European projects focus on transnational access, offering researchers from other countries highly qualified services for analysing the composition of materials, i.e., IBA techniques (Radiate project), or techniques for ¹⁴C dating (IPERION HS project).

It is also worth mentioning national initiatives within the FISR, PRIN, PNRA and BRIC programmes, projects financed by the Region of Tuscany, and by the national scientific commissions of the INFN, witness to the great vitality and topicality of applied nuclear physics for the environment, cultural heritage and the science of materials, which are evident also in consideration of the strong interconnection with other important national and international research centres. For example, the LABEC promoted the birth of CHNet (Cultural Heritage Network), the national network of INFN laboratories where cultural heritage research is carried out. Moreover, the LABEC with CHNet is part of E-RIHS.it, the national node of E-RIHS, the European research infrastructure on the ESFRI roadmap for cultural heritage. As far as the environment is concerned, the LABEC is part of Actris, the European research infrastructure, also on the ESFRI roadmap, which coordinates observations and scientific research on aerosol, clouds and trace gases in the atmosphere; the Elemental Mass Calibration Centre (EMC2), in particular, is located in Florence.

organizzare, progettare e realizzare un Centro di Competenza per la preservazione e conservazione di siti e monumenti utilizzando le più avanzate tecnologie ITC. Altri progetti europei sono centrati sull'accesso transnazionale, cioè sulla possibilità di offrire a ricercatori di altri paesi servizi di alta qualificazione per l'analisi di composizione dei materiali, quindi tecniche IBA (progetto Radiate), oppure per la datazione con ^{14}C (progetto IPERION HS).

Vanno anche menzionate iniziative nazionali nell'ambito dei programmi FIRSR, PRIN, PNRA, BRIC, progetti finanziati dalla Regione Toscana, nonché dalle commissioni scientifiche nazionali dell'INFN, a testimonianza delle grandi vitalità e attualità della fisica nucleare applicata per ambiente, beni culturali e scienza dei materiali, che sono evidenti anche considerando la forte interconnessione con altri importanti centri di ricerca sia nazionali che internazionali. Per esempio, è stato proprio il LABEC a promuovere negli anni passati la nascita di CHNet, Cultural Heritage Network, la rete nazionale dei laboratori INFN in cui si fa ricerca per il patrimonio culturale. Inoltre, il LABEC con CHNet fa parte di E-RIHS.it, il nodo nazionale di E-RIHS, l'infrastruttura di ricerca europea in roadmap ESFRI per i beni culturali. Per quanto riguarda l'ambiente, il LABEC fa parte di Actris, l'infrastruttura di ricerca europea, anch'essa in roadmap ESFRI, che coordina le osservazioni e la ricerca scientifica su aerosol, nubi e gas in traccia in atmosfera; in particolare, proprio a Firenze è ospitato l'Elemental Mass Calibration Centre (EMC2).

Un'ultima cosa ci preme sottolineare: l'attività si è sempre svolta, fin dai tempi del Garbasso, coniugando applicazioni, sviluppo di strumentazione innovati-

There is one last thing that we would like to emphasise: since the days of the Garbasso, the activity has always been carried out by combining applications, the development of innovative instrumentation and the optimisation of analytical techniques with a constant focus on dialogue with students from the physics, chemistry and cultural heritage science degree courses. Because ultimately, people are what make a laboratory alive and successful!

References

- Mandò P.A. (2013), *Il Colle di Galileo*, Vol.2, 2, 27-42.
 Mandò P.A. (2014), *Il Colle di Galileo*, Vol.3, 1, 15-29.
 Chiari M. et al. (2021), *EPJ Plus* vol. 136, 472-499.

Mariaelena Fedi, "primo tecnologo" at the INFN section in Florence, is currently responsible for AMS research activities at LABEC and national co-responsible for the INFN-Kids dissemination initiative, which tells children about science.

Pier Andrea Mandò, former full professor of Applied Physics at the University of Florence, and now retired, initiated the accelerator activities that led to the establishment of the LABEC.

va e ottimizzazione di tecniche analitiche con una costante attenzione al dialogo con studenti e studentesse dei corsi di laurea di fisica, chimica e scienze dei beni culturali. Perché in definitiva sono le persone che rendono viva ed efficace l'attività di un laboratorio!

Bibliografia

Mandò P.A. (2013), Il Colle di Galileo, Vol.2, 2, 27-42.

Mandò P.A. (2014), Il Colle di Galileo, Vol.3, 1, 15-29.

Chiari M. et al. (2021), EPJ Plus vol. 136, 472-499.

Mariaelena Fedi, primo tecnologo presso la sezione INFN di Firenze, è attualmente responsabile delle attività di ricerca AMS al LABEC e co-responsabile nazionale dell'iniziativa di divulgazione INFN Kids che racconta la scienza ai bambini.

Pier Andrea Mandò, già ordinario di Fisica Applicata nell'Università di Firenze, attualmente in pensione, è stato l'iniziatore delle attività con l'acceleratore che hanno poi portato alla costituzione del LABEC.