

Pier Andrea Mandò

# La fisica nucleare applicata negli ultimi anni ad Arcetri e la nascita di nuove attività al LABEC del Polo Scientifico a Sesto Fiorentino

*Applied nuclear physics in the final years at Arcetri and the emergence of new activities at the LABEC of the Polo Scientifico at Sesto Fiorentino*

Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Firenze e Sezione INFN di Firenze

**Sommario.** Ripartendo dalla storia – riportata nel numero precedente – dei primi anni delle attività di fisica nucleare applicata a Firenze, ripercorro qui l'ultimo periodo ad Arcetri, fino alla nascita “formale” del LABEC col trasferimento del nostro gruppo al Polo Scientifico di Sesto Fiorentino; descrivo poi brevemente le nuove attività sviluppate al LABEC, in particolare le datazioni col radiocarbonio usando la tecnica della spettrometria di massa con acceleratore, resa possibile grazie al nuovo Tandem.

**Parole chiave.** Fisica Nucleare Applicata, Ion Beam Analysis (IBA), Accelerator Mass Spectrometry (AMS), radiocarbonio ( $^{14}\text{C}$ )

Riprendo qui il racconto sulla nascita e lo sviluppo a Firenze delle applicazioni di tecniche nucleari nel campo dei beni culturali e dell'ambiente, iniziato in un articolo pubblicato nel numero precedente della rivista.

**Abstract.** Starting from the history of the early years of applied nuclear physics in Florence – reported in the previous issue – here I wish to retrace the final Arcetri period through to the official birth of the LABEC with the transfer of our group to the Polo Scientifico of Sesto Fiorentino. I shall then briefly describe the new activities developed at the LABEC, and in particular radiocarbon dating using accelerator mass spectrometry, made possible through the new Tandem.

**Keywords.** Applied Nuclear Physics, Ion Beam Analysis (IBA), Accelerator Mass Spectrometry (AMS), radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ )

Here I should like to continue the story of the emergence and evolution in Florence of the application of nuclear techniques to the field of the cultural heritage and the environment, taking it up from where I left off in the last issue of the magazine.



Siamo arrivati verso metà degli anni Novanta: siamo quindi sempre ad Arcetri, anche se già è nell'aria lo spostamento al Polo Scientifico di Sesto. Lavoriamo ancora col vecchio acceleratore KN3000, che comincia a denunciare l'età ma resta piuttosto efficiente, grazie a una continua "affettuosa" manutenzione (Fig.1)

Alle analisi su casi specifici si affianca un avanzamento tecnico e metodologico, col rinnovo di strumentazione ancillare e lo sviluppo di nuove potenzialità delle tecniche IBA per i beni culturali, a un livello decisamente competitivo anche nel confronto internazionale.

In seguito al successo delle misure sui manoscritti descritte nel precedente articolo, abbiamo acquistato sempre più "clienti" dal mondo umanistico, essendosi ormai chiaramente dimostrato che le tecniche IBA, oltre a essere non invasive e non distruttive, se si lavora bene non danneggiano davvero le opere. In particolare, hanno avuto fiducia in noi gli storici dell'arte e i restauratori dell'Opificio delle Pietre Dure (OPD). Lavorare con persone come Cecilia Frosinini e Roberto Bellucci, con la loro cultura e apertura mentale verso il mondo scientifico<sup>1</sup>, è stato fondamentale per farci mettere a fuoco il corretto rapporto col mondo della conservazione e stimolarci a sviluppi tecnici innovativi; ed estremamente fruttuoso in termini di occasioni di lavoro di prestigio.

<sup>1</sup> Del resto questa è una caratteristica peculiare di tutto l'OPD, all'interno stesso del quale – non a caso – era ed è presente come importante componente operativa un laboratorio scientifico.

We had got to around the mid-1990s, and so we were still at Arcetri, even though the move to the Polo Scientifico of Sesto was already in the air. We were still working with the old KN3000 accelerator, which was beginning to show signs of age, although it continued to be fairly efficient thanks to ongoing maintenance and "loving care" (Fig.1)

The analysis of specific cases was accompanied by technical and methodological advances, with the renewal of ancillary instrumentation and the development of new potential in IBA techniques for the cultural assets, at a decidedly competitive level even in the international context.

Following the success of the measurements on the manuscripts described in the previous article, we acquired more and more "customers" from the scholarly world of the humanities, since it had by now been clearly demonstrated that the IBA techniques – in addition to being non-invasive and non-destructive – when properly performed genuinely cause no damage at all to the works. The art historians and restorers of the Opificio delle Pietre Dure (OPD) in particular placed their trust in us. Working with people such as Cecilia Frosinini and Roberto Bellucci, with their culture and their mental openness towards the world of science,<sup>1</sup> was fundamental to helping us to focus the right relationship with the art conservation world, stimulating us to develop innovative techniques; it was also extremely beneficial in terms of prestigious work opportunities.

<sup>1</sup> This is, incidentally, a characteristic common to the entire OPD, within which, not incidentally, the scientific laboratory was and is an important operative component.



Fig 1. P.A.M. mentre esce dalla tank del KN3000 dopo aver accuratamente pulito le superfici interne dalla polvere dovuta al consumo della cinghia di carica (fra le dita, il filo di alimentazione dell'aspirapolvere, ancora all'interno)

Fig 1. P.A.M. emerging from the tank of the KN3000 after having carefully removed the dust caused by the wear of the charging belt from the inner surfaces (he is holding the power cord for the vacuum cleaner, which is still inside).

There was another important phase in our "history" before the encounter with the OPD. One day, in 1994, I had a phone call from Paolo Galluzzi, head of the Institute and Museum of the History of Science inviting me to meet an American scholar, Wallace Hopper, who was in Florence on one of the Institute's scholarships. Wally proposed to us a study of Galileo's manuscript folios on the subject of motion, now collected in *Ms.Gal.72* in the Florence National Library. These are notes on experiments, statements of the properties of natural motion and calculations: they are simply notes, and hence undated. Galileo had undoubtedly made many such notes both before and during his Padua period (that is up to around 1610), devoting himself to experimental observations and theoretical elaborations on the motion of falling bodies. He then took them in hand again many years later, during the period in which he was confined at Arcetri, putting the old notes "in order" prior to the drafting of the *Discourses and Mathematical Demonstrations Relating to Two New Sciences*, and certainly making additions and corrections. Clearly it is of the greatest interest to reconstruct exactly when Galileo began to realise that the ideas of the time regarding the motion of falling bodies were mistaken, and when he began to perfect or modify certain conclusions, working up to the correct description of the laws of motion. Indeed the historians of science had worked extensively on the chronology of these notes and their corrections, reaching conclusions based both on analysis of the contents and on "objective" elements such as the handwriting and the colour of the ink. Nevertheless there continued to be much controversy about the possible dating of many of the writings or parts of them.

Prima dell'incontro con l'OPD c'è stato un altro momento importante per la nostra "storia". Un giorno – nel '94 – mi telefonò Paolo Galluzzi dal Museo di Storia della Scienza, chiedendomi di incontrare uno studioso americano, Wallace Hopper, a Firenze con una borsa dell'Istituto. Wally ci propose uno studio dei fogli manoscritti di Galileo sui problemi del moto, oggi raccolti nel *Ms.Gal.72* della Biblioteca Nazionale di Firenze. Si tratta di note di esperimenti, enunciazioni di proprietà del moto naturale, calcoli: semplici appunti, e quindi senza data. Galileo ne aveva certamente scritti molti prima e durante il periodo padovano (cioè fino a verso il 1610), dedicandosi a osservazioni sperimentali ed elaborazioni teoriche sul moto dei gravi. Li riprese poi in mano molto più tardi, durante il periodo del confino in Arcetri, "mettendo in ordine" i vecchi appunti per la stesura dei *Discorsi su Due Nuove Scienze*, e apportò sicuramente correzioni e integrazioni. È evidente l'interesse nel ricostruire quando Galileo abbia cominciato a capire che le idee dei suoi tempi sul moto dei gravi erano sbagliate, quando abbia perfezionato o modificato certe conclusioni, fino ad arrivare alla descrizione corretta delle leggi del moto: perciò sulla cronologia di questi appunti e delle loro correzioni gli storici della scienza avevano lavorato molto, arrivando a conclusioni basate sia sull'analisi del contenuto che su elementi "oggettivi" come la grafia e il colore dell'inchiostro. Ma rimanevano tanti casi controversi sulla possibile datazione di molti scritti o di parte di essi.

Wally pensava che noi potessimo aiutarlo, basandosi però su un equivoco: aveva in mente una datazione delle scritture col  $^{14}\text{C}$ . Ma ciò era da un lato impossibile, dall'altro sarebbe stato inutile! Impossibile tecnicamente per noi, perché il nostro acceleratore non era un Tandem, necessario per la tecnica AMS con cui

Wally believed that we could help him. However, his conviction was based on a misunderstanding: in fact, what he had in mind was a dating of the writing using  $^{14}\text{C}$ . But this, on the one hand was impossible, and on the other would have been pointless! It was technically impossible for us because our accelerator was not a Tandem, which is necessary for the AMS technique used to measure  $^{14}\text{C}$ . It was also impossible because the technique is destructive: even though only a few milligrams are required, collecting milligrams of ink would in any case have meant scratching away entire lines of writing, an idea that was obviously not even to be contemplated.

And it would in any case have been pointless, because the  $^{14}\text{C}$  datings have a minimum intrinsic uncertainty of 25-30 years (plus that of calibration), whereas the point at issue here was the reconstruction of a minute chronology, distinguishing between dates relatively close in time. Consequently, radiocarbon dating was intrinsically not a useful method, even if we had been in a position to implement it.

So what then? How could we give up a research proposal so fascinating for us physicists? And then we had an idea: why not try with PIXE<sup>2</sup> measurements of the composition of the inks! Obviously, in Galileo's time ink production was an artisan affair, and so the composition would vary – at least in terms of relative quantities – from one "batch" to another. We surmised that a

<sup>2</sup> Particle-Induced X ray-Emission, one of the IBA techniques.

si misura il  $^{14}\text{C}$ . E impossibile anche perché la tecnica è distruttiva: pur bastando pochi milligrammi, raccogliere milligrammi di inchiostri significava pur sempre grattare via intere righe di scritti, cosa evidentemente improponibile.

E poi sarebbe stato inutile, perché le datazioni  $^{14}\text{C}$  hanno come minimo un'incertezza intrinseca di 25-30 anni (oltre a quella di ricalibrazione), e il problema era invece quello di ricostruire una cronologia fine, discriminando anche fra date relativamente vicine. E dunque, la datazione col  $^{14}\text{C}$  non era proprio un metodo utile, intrinsecamente, anche se l'avessimo potuta fare.

E allora? Come si poteva rinunciare a una proposta di ricerca così affascinante per noi fisici? Ci venne un'idea: provare con misure PIXE<sup>2</sup> della composizione degli inchiostri! La produzione dell'inchiostro ai tempi di Galileo era ovviamente artigianale, quindi forse la loro composizione variava - almeno quantitativamente - tra una "partita" e un'altra; e una partita di inchiostro comprato o preparato in casa - pensavamo - poteva durargli giusto qualche mese. Allora, misurando inchiostri di scritti datati con certezza (ad esempio lettere) forse avremmo trovato una correlazione fra periodi e composizioni dell'inchiostro, e a quel punto, sempre basandoci sulla composizione degli inchiostri, avremmo potuto fare delle ipotesi su quando erano stati scritti anche i documenti non datati.

Grazie alla disponibilità, in particolare, di Isabella Truci alla Biblioteca Nazionale, provammo subito su lettere autografe e si vide che l'idea era buona: negli

<sup>2</sup> Particle-Induced X ray-Emission, una delle tecniche IBA.

batch of ink, either purchased or made up at home, would probably have lasted him only for a few months. So, if we were to make measurements on the inks of documents of certain date (for example letters) then we might be able to find a correlation between periods and ink compositions; at that point, again basing ourselves on the composition of the ink, we would have been able to come up with hypotheses about when the undated documents were written too.

Thanks to the helpfulness, in particular, of Isabella Truci at the National Library, we immediately tried out the method on autograph letters and we realised that the idea was valid. In the inks of letters dating to different periods, although the elements detected were always the same at a qualitative level (S, Fe, Cu, Zn, Pb, at times traces of Mn, in addition to light metals such as Al and Na), in quantitative terms the ratios between them varied greatly from one period to another. On the contrary, when letters written at short intervals were compared the ratios were very similar.

And so we proceeded with PIXE measurements on the inks of the undated folios of *Ms. Gal. 72*, comparing them with each other and with the measurements of the dated documents.<sup>3</sup> And, in effect, the results suggested or confirmed both "absolute" chronological hypotheses (by comparison with the dated documents) and "relative" ones (the contemporary or non-contemporary

<sup>3</sup> In addition to the letters, a precious source of dated writings was the *Ms. Gal. 26*, a delightful sort of "ledger" kept by Galileo, with notes of all his income and outgoings.

inchiostri di lettere di periodi diversi, pur essendo gli elementi rivelati sempre gli stessi a livello qualitativo (S, Fe, Cu, Zn, Pb, talvolta tracce di Mn, oltre a metalli leggeri come Al e Na), i rapporti fra le loro quantità variavano moltissimo da periodo a periodo; invece i rapporti erano molto simili confrontando lettere scritte a breve distanza di tempo.

Si proseguì allora con misure PIXE di inchiostri anche nei fogli non datati del *Ms. Gal. 72*, confrontandoli fra di loro e con quelli di documenti datati<sup>3</sup>. E i risultati in effetti suggerirono o confermarono sia l'ipotesi di cronologia "assoluta" (dal confronto con documenti datati), che "relativa" (contemporaneità o meno della scrittura di fogli diversi), talvolta altrettanto importante. Si trovò anche che nello stesso foglio correzioni o aggiunte erano a volte fatte con lo stesso inchiostro del testo principale, altre con un inchiostro diverso, suggerendo, rispettivamente, che la correzione fosse stata fatta quasi subito oppure rappresentasse un ripensamento a seguito di una rilettura successiva.

Wally era entusiasta come un bambino quando trovavamo conferme a ipotesi elaborate su base storica e filologica, o deluso quando invece non le si confermavano, ma comunque eccitato dai contributi oggettivi di conoscenza che si portavano con le misure. A lui si unì presto un altro gruppo di studiosi galileiani, del Max Planck Institut für WissenschaftsGeschichte di Berlino, che studiavano gli

<sup>3</sup> Oltre alle lettere, una preziosa fonte di scritture datate fu il *Ms. Gal. 26*, una deliziosa sorta di "agendina" di Galileo con le sue note di spese e guadagni.



Fig. 2. Uno dei fogli del *Ms. Gal. 72* mentre viene piazzato sul punto di misura per l'analisi PIXE dei suoi inchiostri  
 Fig. 2. One of the folios of *Ms. Gal. 72* being placed in the measurement position for the PIXE analysis of the ink.

stessi fogli. Per noi fisici (oltre a me: Lucarelli, Giuntini, e Paul Barker, collega in sabbatico dall'Università di Auckland) la soddisfazione e l'emozione erano grandi, potendo avere sott'occhio (e sotto fascio!) degli scritti originali del nostro "padre" Galileo, e ricavarci anche informazioni storiche rilevanti (Fig. 2). E pensare poi che magari alcune di quelle cose le aveva scritte o corrette lì al Gioiello, a duecento metri da dove ora stavamo misurando, faceva impressione... sembrava che fosse lì con noi, curioso di vedere se si riusciva a trovare il bandolo della matassa!

Queste misure furono apprezzate sia come risultati nel merito di problemi storici sia come metodologia di lavoro, ed ebbero anche una certa risonanza mediatica. Anche grazie a questo tipo di risultati prendeva forza quindi, nella seconda metà degli anni Novanta, l'idea di potenziare il laboratorio per le attività dedicate ai beni culturali. Nacquero iniziative congiunte INFN-Università-CNR con l'idea di sfruttare l'occasione del grande ampliamento degli spazi per la Fisica al Polo di Sesto per installare una macchina nuova; in questa prospettiva ci tentava l'idea di prendere un Tandem, avviando davvero anche le datazioni col  $^{14}\text{C}$  oltre a potenziare le attività di Ion Beam Analysis. Si ipotizzò un consorzio a tre, UniFi, INFN e CNR. Ci volevano però tanti soldi, e non era facile averli da INFN e CNR (l'Università già faceva il suo, investendo per i locali a Sesto, che progettammo appositamente con l'idea di installarvi una nuova macchina). I progetti strategici e finalizzati ai Beni Culturali del CNR dettero un aiuto, ma non sufficiente. Potemmo però andare a giro a prendere contatti con ditte, e con laboratori che avevano installato macchine nuove a scopi applicativi: a Vienna, a Oxford, sedi di affermati centri di datazioni  $^{14}\text{C}$ . A Oxford inoltre lavorava con tecniche IBA il

nature of the writing on the various folios), which is at times equally important. Indeed, on the same folio we sometimes find corrections and additions made with the same ink as the text itself, and at other times made using a different ink; these suggest in the first case corrections that were made almost immediately, and in the second revisions made following a later re-reading.

Wally was in turn as excited as a child when we were able to confirm the hypotheses elaborated on a historical and philological basis, and then cast down when they weren't confirmed. He was in any case very enthusiastic about the objective contributions to knowledge that the measurements represented. Shortly afterwards he was joined by another group of Galileo scholars from the Max Planck Institut für WissenschaftsGeschichte of Berlin who were studying the same folios. For us physicists (as well as myself: Lucarelli, Giuntini, and Paul Barker, a colleague on sabbatical from the University of Auckland), it was an enormous and very emotional satisfaction having before our eyes (and under our beam!) the original writings of our "father" Galileo, and being able to glean important historical information from them (Fig. 2). And then reflecting on the fact that he may even have written or corrected some of these papers right there at Il Gioiello, just two hundred metres from where we were making our measurements, was an amazing sensation ... it seemed almost as if he were there beside us, curious to see whether we would succeed in finding the key!

These measurements were appreciated both in terms of results in relation to historical problems and as a working methodology, and they also had a certain media coverage. Partly on the strength of these repercussions, around the second half of the 1990s the idea of boosting the potential of the laboratory for cultural asset activities began to gain strength. Joint initia-

gruppo leader mondiale per i sistemi di microfasci di ioni a scansione (una sorta di microscopio elettronico fatto con ioni anziché elettroni, con molto maggior sensibilità per elementi in traccia) applicati soprattutto in campo biomedico e alla scienza dei materiali. La Commissione 5 INFN ci finanziò la strumentazione per installare (ancora sul KN3000) un microfascio che, secondo quello che era diventato ormai il nostro “carattere distintivo”, proponemmo di realizzare con fascio esterno, con perdita in risoluzione spaziale ma con grande vantaggio di semplicità e velocità delle misure. L'esperimento EMBÈ (External Micro BEam), dopo aver acquisito il materiale necessario, si fermò per mancanza di forze umane, e poté completarsi solo dopo un paio di anni facendo sviluppare il set-up come tesi di laurea da Mirko Massi sotto la guida di Lorenzo Giuntini. Il nostro microfascio esterno a scansione è stata una realizzazione di grande rilievo e per molti aspetti a tutt'oggi rappresenta un *unicum* a livello mondiale.

Ma il problema dei soldi per comprare un Tandem non si risolveva. In quel momento le priorità INFN sembravano altre, e il contributo consisteva solo in un limitato budget per la continuazione del lavoro col KN3000, erogato tramite la Commissione 5 che finanzia anche esperimenti interdisciplinari.

La svolta ci fu per un “colpo di fulmine” di Enzo Iarocci, Presidente INFN, che a inizio 2000 fece un giro di visite alle Strutture, e a Firenze rimase molto colpito proprio dai miei racconti sulle misure dei manoscritti galileiani. Volle un report dettagliato e mi sollecitò a presentare un progetto per un Tandem da acquistare, approfittando di un periodo più favorevole nei finanziamenti ministeriali, a carico interamente INFN. Il 30 novembre 2000, con Paolo Maurenzig (direttore di

tives were set up between the INFN, the University and the CNR with the idea of exploiting the opportunity of the major expansion of the areas given over to physics at the Polo of Sesto to install a new machine. With this in mind, we were tempted by the idea of getting a Tandem, so that we really would be able to launch  $^{14}\text{C}$  dating, as well as boosting the Ion Beam Analysis activities. The hypothesis was for a trio consortium composed of the University of Florence, the INFN and the CNR (National Research Council). But it was going to take a lot of money, and it was no easy matter getting any from the INFN and the CNR; the University had already done its bit, investing in the Sesto premises, which we designed specially with the idea of installing a new machine there. The CNR strategic projects engaged with the cultural heritage helped a little, but not enough. But we were able to go around making contacts with firms and with laboratories that had already installed new machines for application purposes: in Vienna and in Oxford, where there were already well-established centres for radiocarbon dating. Moreover, already working in Oxford with IBA techniques was the leading world group for ion microbeam scanning systems (a sort of electronic microscope made with ions rather than electrons, with much greater sensitivity for trace elements), applied above all in the biomedical sphere and material science. The INFN Committee 5 provided us with the funding for the instruments to install a microbeam (still on the KN3000) which, in accordance with what had by now become our “distinguishing feature”, we proposed developing with external beam, entailing a loss of spatial resolution, but with the great advantage of simplicity and speed of measurements. After having acquired the necessary material, the EMBÈ (External Micro BEam)



Sezione a Firenze), presentammo in Consiglio Direttivo la proposta, e nel marzo 2001 fu attivato con una dote di 8 miliardi di lire un “progetto speciale”, con la sigla amministrativa LABEC<sup>4</sup>. Le procedure di gara per l’acquisto di un Tandem da 3 MV, delle sorgenti e della linea per AMS si conclusero in tempi record, e la commessa alla High Voltage Europa fu deliberata ai primi di ottobre 2001. Il progetto di macchina per la prima volta prevedeva che con lo stesso acceleratore si potessero fare IBA e AMS, e la consegna prevista era dopo 18 mesi, ma l’edificio non era ancora pronto! Ricordo un po’ di intoppi burocratici che mi tenevano in ansia. Facevo continuamente la spola fra Arcetri, dove continuava a funzionare il KN3000, e il cantiere di Sesto, per cercare di risolvere subito i problemi anche pratici in modo da arrivare a una rapida conclusione dei lavori (Fig. 3). Il nuovo acceleratore arrivò effettivamente a primavera del 2003, con un timing spettacoloso, giusto qualche giorno dopo che l’Università mi aveva consegnato le chiavi del nuovo edificio!

In parallelo alla costruzione del Tandem da parte della ditta, e anche dopo la consegna (durante la prima fase del *commissioning*), le misure erano intanto continuate col vecchio KN3000 ad Arcetri.

Per le analisi del particolato atmosferico una parte del gruppo, guidata da Franco Lucarelli, cominciava ad acquisire grande esperienza e notorietà nazionale e

<sup>4</sup> È solo da questo momento che tale nome nasce formalmente (poi resterà abbinato al laboratorio), anche se come abbiamo visto le attività avevano già una quindicina di anni almeno.

experiment had to be interrupted for lack of manpower, and was completed only a couple of years later by having the set-up developed as a graduation thesis by Mirko Massi under the guidance of Lorenzo Giuntini. Our external scanning microbeam was a development of considerable importance, and in many respects even now continues to be a one-off at global level.

But the problem of getting together the money to buy a Tandem remained. The INFN appeared to have other priorities at the time, and its contribution consisted solely of a limited budget for the continuation of the work with the KN3000, issued through Committee 5 which also funded interdisciplinary experiments.

The turning-point came about when Enzo Iarocci, President of the INFN made a tour of the various structures in early 2000, and in Florence was greatly struck by my stories of the measurements on the Galileo manuscripts. He asked for a detailed report of the work, and urged me to submit a project for the purchase of a Tandem to be paid for entirely by the INFN, taking advantage of a more favourable period in Ministerial financing. On 30 November 2000, the Director of the Florence section Paolo Maurenzig and myself presented the proposal to the Board of Directors, and in March 2001 a “special project” was activated under the administrative acronym LABEC,<sup>4</sup> with an endowment of 8 billion lire. The tender procedures for the

<sup>4</sup> The name (which then remained attached to the laboratory) emerged officially only at this time even though, as we have seen, the activities had already been under way for at least fifteen years.



Fig. 3. Visita al cantiere di Sesto (aprile 2002) durante la costruzione del “capannone” destinato a ospitare il nuovo acceleratore. Da sinistra: M.Colocci (direttore del Dipartimento di Fisica), R.Casalbuoni (Presidente della Facoltà di Scienze), P.Maurenzig (Direttore della Sezione INFN), A.Marinelli ( Rettore dell’Università), G.Spezza, direttore dei lavori, P.A.M., E.Iarocci (Presidente dell’INFN). La foto è stata scattata da Paolo Blasi, Rettore dell’Università di Firenze in precedenza, quando furono finanziati i lavori per l’edificio al Polo Scientifico.

Fig. 3. Visit to the Sesto worksite (April 2002) during the construction of the premises to house the new accelerator. From left: M.Colocci (Director of the Department of Physics), R.Casalbuoni (Dean of the Faculty of Science), P.Maurenzig (Director of the Florence section of the INFN), A.Marinelli (Chancellor of the University), G.Spezza, director of works, P.A.M., E.Iarocci (President of the INFN). The photo was taken by Paolo Blasi, former Chancellor of the University of Florence at the time when the works for the building at the Polo Scientifico were financed.

purchase of a 3 MV Tandem, the sources and the AMS line were completed in record time, and the resolution on the award of the job order to the firm High Voltage Europe was passed in early October 2001. The design of the machine envisaged that, for the first time, the same accelerator could be used to do both IBA and AMS, and the scheduled delivery was for 18 months later, but the building was not yet ready! I recall a few bureaucratic hitches that kept my pulse racing. I was constantly shuttling back and forth between Arcetri, where the KN3000 was still working, and the Sesto worksite where I sought to immediately resolve even the practical problems so as to complete the works as soon as possible (Fig. 3). The new accelerator did indeed arrive in the spring of 2003, with the most spectacular timing, indeed just a couple of days after the University had handed me over the keys to the new building!

While the Tandem was being built, and even after it had been delivered (during the first phase of commissioning), the measurements continued to be made using the old KN3000 at Arcetri.

Part of the group, led by Franco Lucarelli, was beginning to acquire considerable experience and reputation, both in Italy and abroad in the analysis of atmospheric PM (particulate matter), launching a series of projects in collaboration with the Italian regional agencies for environmental protection (starting with that of Tuscany), and also with numerous groups abroad, especially in Spain. Gravitating around the group in these activities were a number of new undergraduates who strengthened it greatly (including Francesca Calastrini and Marina Valerio).

For the cultural heritage activities too we had been joined by some brilliant undergraduates (possibly as a result of the inclusion in the Physics degree syllabus of the course on Physi-

internazionale, avviando una serie di progetti in collaborazione con le agenzie regionali italiane di protezione ambientale (a cominciare da quella della Toscana) ma anche con numerosi gruppi all'estero, in particolare in Spagna. Su queste attività si erano aggregati al gruppo un certo numero di nuovi laureandi (fra cui Francesca Calastrini e Marina Valerio) che lo avevano molto rafforzato.

Anche per le attività sui beni culturali, si erano uniti a noi brillanti laureandi (merito forse dell'attivazione nel corso di laurea in Fisica dell'insegnamento di Metodologie Fisiche per i Beni Culturali, seguito mediamente da una quindicina di ragazze e ragazzi l'anno di cui un certo numero ci chiese la tesi). Oltre a Mirko Massi arrivarono Mariaelena Fedi, Novella Grassi, Alessandro Migliori. Grazie alla loro presenza, si erano stretti sempre più i rapporti di collaborazione con l'OPD cui sopra ho accennato, che ci hanno offerto l'occasione, già al KN3000, di analizzare opere di grande prestigio (ad esempio la *Madonna dei Fusi* di Leonardo).

In questo periodo erano proseguiti, a fianco delle applicazioni, gli avanzamenti tecnologici e metodologici: il citato microfascio ionico esterno (tesi di Mirko Massi), la PIXE differenziale (tesi di Mariaelena Fedi) e la PIGE (tesi di Francesca Calastrini e poi tesi e dottorato di Alessandro Migliori); o l'utilizzo dei rivelatori a deriva di silicio (SDD) per raggi X al posto dei Si(Li) (tesi di Novella Grassi, in collaborazione con colleghi della scuola di Emilio Gatti al Politecnico di Milano – una collaborazione che da allora non si è mai interrotta).

Dai primi anni del Duemila poi avevamo “riacquistato” Francesco Taccetti, anni prima laureatosi con me su temi di fisica medica e poi migrato su altre attività. Francesco ha rappresentato una nuova grande forza del laboratorio dal

cal Methods for the Cultural Heritage, which was generally taken by about fifteen students a year, some of whom requested to do their thesis in this field]. In addition to Mirko Massi, there were also Mariaelena Fedi, Novella Grassi and Alessandro Migliori. Thanks to their presence the relations of collaboration with the OPD which I mentioned above had become increasingly stronger, which at the KN3000 had already offered us the opportunity to analyse works of the greatest importance (for example, Leonardo's *Madonna dei Fusi*).

In this same period, the technological and methodological advances proceeded in parallel with the development of the applications: the external ion microbeam mentioned above (graduation thesis by Mirko Massi), the differential PIXE (graduation thesis by Mariaelena Fedi) and the PIGE (graduation thesis by Francesca Calastrini and then doctoral thesis by Alessandro Migliori); or the use of silicon drift detectors (SDD) for X rays in place of the Si(Li) (graduation thesis by Novella Grassi, in collaboration with colleagues from the school of Emilio Gatti at Milan Polytechnic – a collaboration that has continued without interruption ever since).

From the early years of the new millennium we had also “reacquired” Francesco Taccetti, who had graduated with me years before on topics of medical physics and had then migrated to other activities. Francesco represented one of the great new strengths of the laboratory from the time of the move to Sesto. Similarly precious was the arrival of Luca Carraresi who, coming from the Group of Structure, brought with him new and complementary areas of expertise which were again fundamental for the launch of the new organisation of the Sesto laboratory.

momento del trasferimento a Sesto. E prezioso è stato l'arrivo di Luca Carraresi, che provenendo dal gruppo di Struttura ha portato competenze nuove e complementari, anch'esse fondamentali per l'avvio del nuovo assetto del laboratorio a Sesto.

Il KN3000 fu definitivamente mandato in pensione soltanto verso fine 2003, quando la macchina ebbe un problema grosso, e per sistemarlo avremmo dovuto impiegare troppo tempo; decidemmo allora di concentrarci tutti sulla messa in funzione a Sesto del laboratorio Tandem. Il trasferimento e potenziamento dei canali di misura per le tecniche IBA che già funzionavano al KN3000 erano infatti interamente sulle nostre spalle (per il *commissioning* del Tandem e della nuova linea di misura di AMS eravamo invece assistiti anche dalla ditta costruttrice). Furono installate tre linee di fascio esterno per misure IBA, tra cui una completamente dedicata alle analisi degli aerosol. Il microfascio esterno fu notevolmente "potenziato" rispetto alla prima versione di Arcetri. Anche per queste realizzazioni e in seguito per il loro consolidamento e miglioramento, è sempre stato fondamentale il contributo dei più giovani (tesi di Giulia Calzolari, tesi e dottorato di Silvia Calusi, dottorati di Mirko Massi e Silvia Nava). C'era inoltre da metter su il laboratorio di preparazione dei campioni per le misure AMS di  $^{14}\text{C}$ , e questo fu fatto, dopo alcuni primi test ancora ad Arcetri, direttamente nei nuovi ampi spazi dell'edificio a Sesto. Lavoro cruciale, svolto essenzialmente da Mariaelena Fedi

The KN3000 was definitively pensioned off towards the end of 2003, when the machine developed a serious problem and it would have taken too much time to resolve it. We therefore decided that we should all concentrate on getting the Tandem laboratory at Sesto into operation. The moving and the enhancement of the measuring beam lines for the IBA techniques that had already been operating at the KN3000 was in fact entirely our responsibility, whereas for the commissioning of the Tandem and the new AMS measuring line we also had the assistance of the constructor firm. Three external beam lines for IBA measurements were installed, including one dedicated entirely to the analysis of aerosols. The external microbeam was strengthened considerably in comparison to the initial Arcetri version. For these aspects too, and in their subsequent consolidation and improvement, the contribution of the younger members of the group continued to be crucial (graduation thesis by Giulia Calzolari, graduation and doctoral theses by Silvia Calusi, doctoral theses by Mirko Massi and Silvia Nava). Then we also had to set up the laboratory for preparation of the samples for the AMS  $^{14}\text{C}$  measurements, and this was done – after a few initial tests at Arcetri – directly in the spacious new premises of the Sesto building. This fundamental work was essentially carried out by Mariaelena Fedi during her doctorate,<sup>5</sup> with the help of Francesco Taccetti and Luca Carraresi, who

<sup>5</sup> To learn the preparation techniques, and in general gain experience in AMS, Mariaelena also spent several months at the VERA laboratory in Vienna.

durante il suo dottorato<sup>5</sup>, con l'aiuto di Francesco Taccetti e Luca Carraresi, che contemporaneamente seguivano insieme a Lorenzo Giuntini e Massimo Chiari il montaggio e i test del nuovo acceleratore e delle linee di fascio IBA.

Il collaudo finale del Tandem avvenne a maggio del 2004. Qui si comincia a parlare di attività recente, e non mi soffermerò quindi a lungo a descriverla in una "pillola di storia". Va ricordato che da allora si è effettivamente aperto, come auspicato, un capitolo completamente nuovo, le datazioni <sup>14</sup>C, che ci hanno dato parecchie soddisfazioni scientifiche e anche qualche sprazzo di notorietà mediatica. Cito ad esempio le datazioni della tonaca e altre reliquie francescane di Cortona e la tonaca di Santa Croce a Firenze, che hanno mostrato come quest'ultima non può essere appartenuta al Santo di Assisi; o la datazione del "papiro di Artemidoro", che insieme all'analisi IBA della composizione dei suoi inchiostri, ha portato nel complesso un contributo di fatto dirimente a favore della sua autenticità, in una disputa che aveva riempito le pagine dei giornali. Ma al di là dei casi che ci hanno portato notorietà mediatica, è da sottolineare il lavoro continuo in collaborazione con archeologi, storici dell'arte e restauratori (e in particolare con l'OPD, anche per le datazioni), grazie al quale il nostro gruppo si è presto inserito fra i più affidabili a livello internazionale anche nel campo dell'AMS. E anche per l'AMS abbiamo sempre affiancato alle misure "di servizio" un continuo sviluppo di innovazioni tecnologiche e di metodo.

<sup>5</sup> Per imparare le tecniche di preparazione e in generale fare esperienza di AMS, Mariaelena trascorse anche alcuni mesi al laboratorio VERA di Vienna.

simultaneously monitored the assembly and testing of the new accelerator and the IBA beam lines, together with Lorenzo Giuntini and Massimo Chiari.

The final testing of the Tandem took place in May 2004. Here we are beginning to talk about recent history, and so I don't intend to dwell at length on it in a "nugget of history". Suffice it to say that since that moment we have effectively opened, as hoped, a completely new chapter – the <sup>14</sup>C datings – which have given us considerable scientific satisfaction and also a smattering of media fame. I would mention, for example, the datings of the habit and other Franciscan relics from Cortona and the habit of Santa Croce in Florence, which have demonstrated how the latter could not have belonged to the Saint of Assisi, and the dating of the "papyrus of Artemidorus" which, together with the IBA analysis of the composition of its inks, added up globally to a contribution that was in effect conclusively in favour of its authenticity, in a dispute that had filled the pages of the newspapers. But beyond the cases that have brought our name to the media headlines, we should stress the ongoing work in collaboration with archaeologists, art historians and restorers (and in particular with the OPD, also for dating), as a result of which our group has rapidly become one of the most reliable at international level even in the field of AMS. And for the AMS too, we have also accompanied the "service" measurements with an ongoing development of innovations in technique and methodology.

Returning to the analysis of the materials used in the production of the works of art, in Sesto I would mention the innovative applications of the external scanning microbeam to construct, for the very first time, maps of the elemental composition of artefacts of historic and

Tornando alle analisi dei materiali di produzione delle opere, a Sesto cito le applicazioni innovative del microfascio esterno a scansione per costruire mappe di composizione elementale, per la prima volta, su manufatti di valore storico e artistico (dottorato di Novella Grassi e in seguito di Pamela Bonanni). Tra questi, importanti dipinti di Antonello da Messina e del Mantegna. E sono stati sviluppati strumenti portatili estremamente efficienti che, pur non avendo tutte le qualità delle tecniche IBA, possono costituirne un buon surrogato in tutti i casi in cui non sia possibile trasportare le opere in laboratorio, come per le pitture murali. Abbiamo analizzato *in situ*, tra molti altri, affreschi di Piero della Francesca a Sansepolcro, di Giotto in Santa Croce, del Beato Angelico in San Marco, un dipinto su tavola di Raffaello, il Crocifisso del Maestro da Figline sull'altar maggiore di S.Croce.

E anche le attività del LABEC che riguardano le analisi del particolato atmosferico<sup>6</sup> hanno avuto uno sviluppo fortissimo col nuovo acceleratore. La parte tradizionale di analisi di composizione del particolato si è molto potenziata ed è stato aperto un filone di ricerca completamente nuovo che fa uso dell'AMS per misurare il <sup>14</sup>C negli aerosol (dottorato di Giulia Calzolari), per discriminare in ultima analisi fra la componente "naturale" e quella antropogenica del carbonio presente nel particolato.

<sup>6</sup> In questo excursus "storico" (anch'esse originano dalle esperienze dei primi tempi di Arcetri descritti nel precedente articolo) ne ho solo accennato, ma meriterebbero un racconto dedicato.

artistic value (doctoral thesis by Novella Grassi and subsequently by Pamela Bonanni), including paintings by Antonello da Messina and Mantegna. In addition, extremely efficient portable instruments have been developed which, despite not having all the advantages of the IBA techniques, can act as a good substitute in all cases when it is not possible to bring the work to the laboratory, as in the case of mural paintings. We have analysed *in situ*, frescoes by Piero della Francesca in Sansepolcro, by Giotto in Santa Croce, by Beato Angelico in San Marco, a panel painting by Raphael, the *Crucifix* by the Maestro da Figline on the high altar of Santa Croce, and many others.

The activities of LABEC concerning the analysis of atmospheric PM<sup>6</sup> have also been greatly developed with the new accelerator. The traditional part of the analysis of particulate matter composition has been greatly boosted, and a completely new strand of research has been opened up which uses AMS to measure <sup>14</sup>C in aerosols (doctoral thesis by Giulia Calzolari), in the final analysis to distinguish between the "natural" and the anthropogenic components of the carbon present in the particulate matter.

I shall stop here because if I were to continue I would genuinely move on from a "nugget

<sup>6</sup> In this historic excursus I have mentioned the atmospheric PM analyses only in passing – they too originate from the experiences of the early days in Arcetri described in the previous article – but they would certainly merit a story of their own.

Mi fermo qui, perché, proseguendo, passerei davvero da una “pillola di storia” a un report di attività. Negli ultimi anni il gruppo LABEC, nonostante la drammatica situazione per il reclutamento di personale per la ricerca che ha costretto ad andar via persone che avevano tanto contribuito allo sviluppo del laboratorio, ha tuttavia continuato a operare attivamente, e attrae ancora oggi molti nuovi giovani in tesi di laurea e dottorato, sia per le attività sui beni culturali che per quelle sull’ambiente. E c’è un altro fatto positivo: un numero sempre maggiore di ricercatori esterni (anche dall’estero) usano i fasci del LABEC.

Insomma, ci sentiamo ancora vivi e vegeti, nonostante che qui io abbia descritto le nostre attività in una chiave retrospettiva “storica”!

*Pier Andrea Mandò*, laureato in fisica nel 1973, dopo un’iniziale attività in fisica nucleare sperimentale di base, si è progressivamente dedicato alle applicazioni di tecniche nucleari in settori quali beni culturali e ambiente. È ordinario di Fisica Applicata nell’Università di Firenze e dirige la locale Sezione INFN.

of history” to an activity report. Over recent years, despite the dramatic situation for the recruitment of research personnel which has forced people who had made a crucial contribution to the development of the laboratory to leave, the LABEC group has nevertheless continued to work actively and to go on attracting many new young people who wish to dedicate their graduation or doctoral theses to this area, in both the activities related to the cultural assets and those related to the environment. And there is another positive factor: the LABEC beams are being used by an increasing number of external researchers, even from abroad.

In short, despite the fact that here I have chosen to describe our activities in a historic and retrospective key, we feel we are still very much alive and kicking!

*Pier Andrea Mandò*, graduated in physics in 1973, after initial activities in pure experimental nuclear physics, has progressively devoted himself to applications of nuclear techniques to sectors such as cultural assets and the environment. He is Professor of Applied Physics at the University of Florence and directs the local section of the INFN.

