

# Bruno Touschek Memorial Lectures

1961-2011 From **AdA** to **SuperB**  
Anniversary Brochure

**Versione italiana**  
Version française  
English version

LAL  
Orsay

LNF  
Frascati



Bruno Mazoyer - LAL Orsay

**LAL**  
LABORATOIRE  
DE L'ACCELERATEUR  
LINEAIRE

**INFN**  
Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare  
Laboratoire National de Frascati



<http://www.lnf.infn.it/conference/btml2011>

# Bruno Touschek Memorial Lectures

AdA the first electron-positron storage ring



1961-2011 from **AdA** to **SuperB**



Scientific twinning Frascati-Orsay



## Speakers

C. Bernardini Univ. Sapienza, Roma  
J. Haissinski LAL, Orsay  
G. Pancheri LNF, Frascati  
R. Petronzio Univ. Tor Vergata, Roma  
P. Raimondi LNF, Frascati  
G. Salvini Univ. Sapienza, Roma  
A. Skrinsky BINP, Novosibirsk  
A. Stocchi LAL, Orsay

Thursday December 1<sup>st</sup>, 2011

10:00 a.m.

Bruno Touschek auditorium

## Advisory Committee

C. Bernardini Univ. Sapienza, Roma  
U. Dosselli LNF, Frascati  
M. Greco Univ. Roma Tre  
G. Salvini Univ. Sapienza, Roma  
A. Stocchi LAL, Orsay

## Organizing Committee

N. Arnaud  
D. Babusci  
R. Bassoli  
H. Bilokon (chair)  
L. Bonolis  
R. Centioni  
M. C. D'Amato  
G. Pancheri  
C. Sciacca



A.d.A.

Secretary: Maria Cristina D'Amato

[www.lnf.infn.it/conference/btml2011](http://www.lnf.infn.it/conference/btml2011)

## Indice

<b>Prefazione</b>	<b>4</b>
Cap. 1 INFN – LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI	5
Cap. 2 LABORATOIRE DE L'ACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE	8
Cap. 3 LA CITTÀ DI FRASCATI	12
Cap. 4 LA CITTÀ DI ORSAY	15
Cap. 5 AdA E BRUNO TOUSCHEK	18
Cap. 6 AdA A ORSAY	24
Cap. 7 SUPERB	28
<b>Crediti</b>	<b>31</b>

## PREFAZIONE

Cinquant'anni fa, il primo Anello di Accumulazione elettrone-positrone al mondo, AdA, cominciò a funzionare a Frascati nei Laboratori Nazionali dell'INFN. AdA fu ideata da Bruno Touschek, un fisico teorico austriaco, che nel febbraio-marzo del 1960, propose un progetto che venne approvato rapidamente. Costruito in meno di un anno da un gruppo di ingegneri, tecnici e fisici, alcuni dei quali avevano appena completato la costruzione di un sincrotrone per elettroni da 1100 MeV, AdA venne messo in funzione nel febbraio del 1961.

Per celebrare questo storico traguardo, il 1° dicembre, a Frascati, i Laboratori Nazionali dell'INFN di Frascati e il Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL) di Orsay, dove AdA fu utilizzata con successo per la prima volta come anello di collisione, organizzano congiuntamente un workshop intitolato "Da AdA a SuperB" come evento speciale nella serie "Bruno Touschek Memorial Lectures".

Il programma del workshop si compone di due parti: la prima, indirizzata alla comunità scientifica, è dedicata alla storia delle collisioni elettrone-positrone e al nuovo progetto SuperB; la seconda parte, che si svolgerà nel bellissimo scenario delle Scuderie Aldobrandini nella città di Frascati, consiste in un seminario su SuperB rivolto al grande pubblico. Grazie ai Sindaci di Frascati e di Orsay, verrà istituito un gemellaggio scientifico tra le due città.

Il Direttore del Laboratorio di Frascati

Umberto Dosselli

Il Direttore del Laboratorio dell'Acceleratore Lineare

Achille Stocchi

## CAPITOLO 1

### INFN – LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI



I Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) sono stati la prima struttura di ricerca fondata in Italia per lo studio della fisica nucleare e subnucleare con macchine acceleratrici. Essi sono attualmente il più grande Laboratorio dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), l'Ente che promuove, coordina e finanzia la ricerca nel campo della fisica subnucleare e nucleare.



*Vista aerea dei LNF.*

La costruzione dei LNF risale al 1955, un periodo di forte crescita per la fisica delle particelle. Negli anni precedenti i fisici avevano indagato la struttura e le trasformazioni dei nuclei e avevano appena iniziato a studiare la natura dei loro componenti. Gli esperimenti condotti sulla radiazione cosmica avevano inoltre rivelato l'esistenza di nuove particelle, assenti nella materia ordinaria. L'INFN affidò ai LNF il compito di costruire macchine acceleratrici di particelle in grado di sondare i costituenti del nucleo e di produrre in laboratorio nuove forme di materia.

Da allora i LNF sono stati protagonisti in tutti i settori di ricerca propri dell'INFN: la fisica delle macchine acceleratrici, la fisica subnucleare e nucleare, la fisica della radiazione cosmica e la fisica con luce di sincrotrone. Attualmente

l'organico dei Laboratori è composto da ricercatori, tecnologi, tecnici e da personale amministrativo, per un totale di 348 persone. Inoltre, circa 450 ospiti italiani e stranieri collaborano alle attività scientifiche.

La caratteristica principale dei LNF consiste nella capacità di saper costruire gli acceleratori di particelle. Questa attività ebbe inizio nel 1957 con il Sincrotrone da 1100 MeV, la macchina più potente dell'epoca, continuò con AdA ed ADONE per arrivare all'attuale DAΦNE, la macchina con il record mondiale di luminosità istantanea a bassa energia. Non solo, attualmente i LNF ospitano il laser ad elettroni liberi SPARC, costruito in collaborazione con ENEA e CNR, e il laser di altissima potenza FLAME per lo studio di tecniche innovative per l'accelerazione di particelle.

Le competenze tecniche e scientifiche della Divisione Acceleratori sono uniche in Italia, e rare in Europa, e sono una ricchezza che l'INFN mette anche al servizio della società. Infatti, la Divisione Acceleratori, con uno staff di circa 90 persone, oltre a fare ricerca fondamentale, ha contribuito sia alla realizzazione di un acceleratore di protoni e ioni carbonio per la terapia medica al Centro Nazionale per l'Adroterapia Oncologica (CNAO) in un ospedale di Pavia, che alla costruzione di un laser ad elettroni liberi per raggi X (SPARX), che sarà usato per studi di struttura della materia, biologia, scienze dei materiali nell'area di ricerca dell'Università di Roma Tor Vergata.

Insieme alla Divisione Acceleratori, e con il supporto della Divisione Tecnica e di quella Amministrativa, opera la Divisione Ricerca, con i suoi circa 180 tra dipendenti e associati: ricercatori, ingegneri e tecnici impegnati in attività di ricerca a Frascati e in collaborazioni internazionali. Nei LNF sono attualmente in funzione l'esperimento KLOE, che studia il differente comportamento tra materia e antimateria, e il rivelatore di onde gravitazionali NAUTILUS. I LNF partecipano agli esperimenti in corso al CERN di Ginevra, al FERMILAB di Chicago, nei laboratori di SLAC a Stanford, in California, al JLAB in Virginia, nel laboratorio di DESY in Germania, oltre che nei laboratori INFN di Legnaro, del Gran Sasso e del Sud a Catania. La stretta collaborazione con gli altri centri di ricerca porta ad un confronto continuo dei ricercatori e dei tecnici con i loro colleghi stranieri, confronto che è necessario e alla base del mantenimento dell'elevata qualità della ricerca in Italia.

La presenza degli acceleratori in casa e le collaborazioni internazionali sopra citate, hanno avuto importanti e benefiche conseguenze sull'intero sistema, motivando i fisici, gli ingegneri e i tecnici migliori a lavorare a Frascati. È stato

grazie a questa ricchezza culturale che si sono potute far crescere attività complementari alla ricerca in fisica delle alte energie. Tra queste, l'uso della luce di sincrotrone emessa dagli elettroni di DAΦNE, l'uso dei fasci di elettroni, di positroni e di fotoni estratti dall'iniettore di DAΦNE, la ricerca in scienza dei materiali, le applicazioni mediche e spaziali, lo sviluppo di nuovi rivelatori, le tecniche di elaborazione dell'immagine, lo sviluppo di ottiche per raggi X, la dosimetria delle radiazioni e il controllo ambientale, la gestione di reti informatiche, la costruzione di centri di calcolo avanzato.

Inoltre, da molti anni, i LNF sono attivi nella diffusione della cultura scientifica con programmi di educazione rivolti al mondo della scuola e al vasto pubblico: visite guidate agli apparati sperimentali, stage per studenti, "Incontri di Fisica" per docenti della scuola secondaria superiore, oltre a lezioni, seminari, incontri con autori di testi scientifici divulgativi. Le attività sono organizzate sia nei LNF che presso scuole e istituzioni su tutto il territorio nazionale.



*Veduta d'insieme dell'acceleratore DAΦNE.*

## CAPITOLO 2

### LABORATOIRE DE L'ACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE



Il Laboratorio dell'Acceleratore Lineare (Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire - LAL) è un grande laboratorio di ricerca fondamentale basato sulla fisica "dei due infiniti": da un lato lo studio dei componenti ultimi della materia, le particelle elementari; dall'altro la cosmologia con la storia, la composizione e l'evoluzione dell'Universo. Come indicato dal suo nome, il LAL è dal 1956, data della sua fondazione, strettamente legato agli acceleratori di particelle, sia per la fisica che per gli sviluppi tecnologici ad essi connessi.



*Entrata del LAL.*

Il LAL è un'unità mista dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e di Fisica delle Particelle (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules - IN2P3) del Centro Nazionale della Ricerca Scientifica (Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS) e dell'Università Paris-Sud. I fisici del laboratorio sono quindi sia ricercatori del CNRS che docenti universitari. Infatti, il LAL partecipa a tutti i livelli alle attività di insegnamento – laurea breve, laurea specialistica, "Grandes Écoles" – e recluta ogni anno una decina di dottorandi. Oltre alla ricerca, il LAL investe molto nelle attività di divulgazione rivolte alle scuole (docenti e studenti) ed anche al grande pubblico. Due gli esempi: la rivista

Elémentaire (<http://elementaire.web.lal.in2p3.fr>) il cui comitato di redazione è formato per la maggior parte da personale del LAL, e la collaborazione di lunga data con l'associazione Sciences-ACO (<http://www.sciencesaco.fr>) la cui missione principale è l'organizzazione di visite guidate all'Anello di Collisione di Orsay (Anneau de Collisions d'Orsay - ACO), un vecchio acceleratore del LAL mantenuto in buono stato ed iscritto nell'inventario complementare dei Monumenti Storici.

Il LAL conta circa 120 ricercatori ripartiti in una dozzina di gruppi tra cui i più numerosi sono coinvolti in ATLAS e LHCb, gli esperimenti di LHC (al CERN in Svizzera). Come sempre, i contributi del LAL vanno dagli sviluppi tecnici (progettazione, costruzione, messa in funzione e manutenzione dei rivelatori) alle più avanzate analisi di fisica. Per quanto concerne la cosmologia, l'esperimento principale è attualmente il satellite Planck, che da quando è stato lanciato, nella primavera del 2009, ha scandagliato più volte l'intera volta celeste al fine di misurare le caratteristiche della radiazione cosmica di fondo, emessa 300.000 anni dopo il Big Bang quando l'Universo è diventato trasparente alla radiazione elettromagnetica. Dopo aver contribuito alla realizzazione del computer di bordo del satellite, nonché al rivelatore HFI, il gruppo del laboratorio è ora impegnato nell'analisi dei risultati di fisica che saranno pubblicati nei prossimi mesi. Oltre a queste attività, il LAL è coinvolto in numerosi progetti internazionali: gli esperimenti DØ e BaBar negli Stati Uniti, l'osservatorio Pierre Auger in Argentina, i rivelatori NEMO nel laboratorio sotterraneo di Modane nel tunnel del Fréjus, il grande interferometro Virgo per la rivelazione diretta di onde gravitazionali in Italia, e la ricerca di materia oscura e di energia oscura con i progetti LSST e BAO-radio. Per quanto concerne le prospettive future, il LAL partecipa a molti nuovi progetti: il miglioramento dei rivelatori di LHC, la progettazione del futuro collisore lineare, l'esperimento JEM-EUSO sulla stazione spaziale internazionale e il progetto SuperB per la costruzione in Italia di una B-factory di nuova generazione.

Anche se il grande acceleratore lineare che ha dato il suo nome al laboratorio è stato spento alla fine del 2004 e poi dismesso, l'impegno del LAL nel campo degli acceleratori di particelle è sempre rimasto importante. Oggi il LAL termina, presso il laboratorio, la messa a punto di un acceleratore di elettroni di 10 MeV, PHIL, costruito presso il laboratorio e le cui attività di R&D permetteranno lo sviluppo degli iniettori del futuro. PHIL sarà al contempo aperto ad una vasta comunità di utenti che vi potranno realizzare esperimenti su fascio. Inoltre, il LAL ha la responsabilità della costruzione e dei test di avvio di 640 accoppiatori

di XFEL, un laser ad elettroni liberi di nuova generazione che sarà costruito a DESY in Germania.

Questo mercato di svariati milioni di euro necessita di un forte partenariato tra il laboratorio e industrie quali la Thales. D'altro canto, il LAL ha lanciato la costruzione di una sorgente compatta innovativa di raggi X, ThomX, che fornirà dei fasci in un edificio vicino al laboratorio. Tale attrezzatura d'eccellenza (etichettata EQUIPEX a metà 2011) avrà numerose applicazioni, dal campo medico allo studio non invasivo delle opere d'arte. Per le sue dimensioni ridotte e per il suo costo relativamente modico, ThomX è di interesse per laboratori di ricerca e industrie di tutto il mondo. Attività più fondamentali sono ugualmente in corso, come per esempio la messa a punto di fasci di emittanza record con la linea ATF-2 in Giappone.

I successi del laboratorio si fondano in primo luogo su servizi tecnici e amministrativi di grande qualità, che raggruppano in totale 200 ingegneri e tecnici. I servizi elettronico, meccanico, informatico e quello dello studio e realizzazione di acceleratori, sviluppano, realizzano e mantengono alcuni elementi essenziali degli esperimenti in cui il LAL è impegnato, sia in loco che nei più grandi laboratori al mondo. I servizi del personale, finanziario, delle missioni e quello infrastrutture e logistica, gestiscono il personale del laboratorio e permettono la realizzazione di tutti i progetti nelle migliori condizioni.

La storia del LAL è molto ricca, come hanno mostrato le commemorazioni in occasione del cinquantenario del laboratorio nel 2006. Costruito sotto la direzione del professor Yves Rocard del laboratorio di fisica della Scuola Normale Superiore intorno ad un grande acceleratore lineare di punta per le tecnologie dell'epoca, il LAL ha ottenuto i suoi primi successi a partire dagli anni '60. Vale la pena citare in particolare l'osservazione delle prime collisioni elettrone-positrone nel 1963 nell'anello AdA – costruito al laboratorio INFN di Frascati (Roma) e trasportato ad Orsay per beneficiare dell'iniettore del LAL – e l'entrata in funzione dell'Anello di Collisioni d'Orsay (ACO) nel 1965. Dopo aver consentito misure molto importanti in fisica delle particelle, ACO e poi SuperACO, hanno svolto un ruolo fondamentale nell'uso della radiazione di sincrotrone in numerosi esperimenti di fisica (scienza dei materiali, osservazione di reazioni chimiche, ecc.). Il Laboratorio per l'Utilizzazione della Radiazione Elettromagnetica (Laboratoire pour l'Utilisation du Rayonnement Electromagnétique – LURE) è nato anch'esso al LAL nel 1973; resosi autonomo nel 1985, oggi il LURE è diventato il sincrotrone SOLEIL sull'altopiano di Saclay, una sorgente di luce di terza generazione estremamente performante.

Fino agli inizi degli anni '70, il LAL ha realizzato degli esperimenti in loco su anelli di collisione alimentati dal grande acceleratore lineare con energia massima di 2.3 GeV. La serie di esperimenti si è conclusa con il rivelatore DM-2 sul collisore DCI ("Dispositif de Collisions dans l'Igloo" - "Dispositivo di Collisione nell'Igloo"). In parallelo si sono sviluppate delle collaborazioni su esperimenti esterni, in primo luogo al CERN. In questo periodo storico, il LAL ha partecipato attivamente all'esperimento Gargamelle sotto la direzione del suo direttore André Lagarrigue. Più di un milione di lastre di eventi furono realizzate in questa camera a bolle; alcune di esse permisero la scoperta delle "correnti neutre", una predizione essenziale del Modello Standard elettrodebole. La collaborazione con il CERN si è intensificata negli anni '80-'90 con la scoperta dei bosoni W e Z (esperimento UA2 sul collisore protone-antiprotone  $Sp\bar{p}S$ ) e le misure sistematiche delle loro caratteristiche e proprietà (esperimenti ALEPH e DELPHI sul collisore elettrone-positrone al LEP). Oggi l'impegno del LAL nei riguardi del CERN è testimoniato dal coinvolgimento del laboratorio negli esperimenti ATLAS e LHCb su LHC.

La storia del LAL è dunque una grande avventura costellata di numerosi successi sul piano scientifico, tecnico ed umano. Lungi dal riposarsi sugli allori del suo passato, il laboratorio è completamente impegnato nelle grandi sfide del momento: la ricerca di una nuova fisica oltre il Modello Standard, la comprensione delle leggi che regolano l'Universo e lo studio delle sue caratteristiche, le applicazioni alla società provenienti dalla ricerca fondamentale ecc. Si prepara in tal modo ad un futuro promettente, ricco di scoperte e di progressi scientifici, tanto fondamentali quanto applicativi.



*Il fotoiniettore PHIL.*

## CAPITOLO 3

### LA CITTÀ DI FRASCATI



#### Comune di Frascati: provincia di Roma

La città di Frascati si stende nell'area anticamente occupata da alcune ville di epoca romana imperiale - tra cui è da ricordare quella di Cicerone - e nel territorio originariamente pertinente al suburbio dell'antica Città latina di Tusculum. Considerata la perla dei Castelli Romani, sia per la splendida posizione geografica, che per le emergenze archeologiche, storico-artistiche ed ambientali che la caratterizzano, Frascati - il cui nome viene citato per la prima volta nel Liber Pontificalis verso la metà del IX secolo d.C. - crebbe di importanza dopo la distruzione di Tuscolo, avvenuta nel 1191. Dopo alterne vicende, che videro protagonisti personaggi come Cola di Rienzo, Pio II Piccolomini - che fece erigere la prima cinta muraria della città -, il cardinale Guglielmo d'Estouteville, Lucrezia Borgia, Lucrezia della Rovere e Marcantonio Colonna, Frascati divenne proprietà dei Farnese e nel 1538 Paolo III Farnese la insignì del titolo di "civitas".

A partire dalla seconda metà del XVI secolo, alcuni tra i più importanti personaggi della Camera Apostolica vi fecero erigere le loro residenze, splendide dimore di rappresentanza, Villa Aldobrandini, Tuscolana - La Rufinella, Lancellotti, Falconieri, impreziosite dalle opere dei migliori architetti e artisti dell'epoca, come Bernini, Borromini, Della Porta, Maderno, Cavalier d'Arpino, Domenichino, Pier Leone Ghezzi. In virtù di questa magnificenza, durante il Settecento e fino alla prima metà dell'Ottocento, Frascati rappresentò una delle tappe obbligate per i viaggiatori del Grand Tour; le opere di artisti come Gaspar van Wittel, Robert Hubert, Charles de Chatillon, Claude Lorrain offrono ancora oggi la misura dell'attenzione che la città seppe guadagnare sui grandi personaggi che la visitarono, testimoniata dagli scritti fra gli altri di Goethe, Scott, Stendhal, Charles De Brosses, Mark Twain, Erik Ibsen, George Sand, Emile Zola.

Nel 1856, sotto il pontificato di Pio IX, fu inaugurata la stazione ferroviaria Roma-Frascati, la prima nel Lazio e una delle prime in Italia, che incrementò

i commerci e il flusso turistico verso la città. La seconda guerra mondiale purtroppo rappresentò un grave vulnus per Frascati, perché a causa della presenza del Comando Tedesco del Centro Sud l'8 settembre del 1943 fu violentemente bombardata dagli aerei alleati, subendo la distruzione di gran parte dell'abitato. Ogni anno si celebra l'anniversario del Giorno della Memoria, durante il quale, dal 1999, l'Amministrazione Comunale invita città martiri della guerra per un simbolico gemellaggio di Pace. Nell'ordine sono state invitate a partecipare alle commemorazioni: Cassino, Marzabotto, Gernika, Hanoi, Mostar, Hiroshima, Sant'Anna di Stazzema, L'Aquila, Sant'Eusanio Forconese, Isernia, Lanciano.



*Veduta di Frascati.*

Nel dopoguerra si è realizzata un'importante opera di ricostruzione del tessuto urbanistico e, dagli anni '50 in poi, si è sviluppato uno dei più grandi poli europei della ricerca scientifica. In quest'area infatti trovano posto i laboratori dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN-LNF) ; dell'Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA); ESRIN, stabilimento dell'ESA in Italia ; numerosi istituti del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (OAR, IASF e IFSI) e i centri di calcolo della Banca d'Italia. Attualmente è gemellata con Saint-Cloud, Bad Godesberg, Kortrijk e Windsor & Maidenhead.

Dalla fine degli anni '90, si sono realizzati molti interventi pubblici che hanno visto il loro culmine nella ristrutturazione, a cura di Massimiliano Fuksas, delle seicentesche Scuderie Aldobrandini, trasformate in un moderno polo culturale e polifunzionale e inaugurate l'8 aprile del 2000, che, insieme agli affascinanti siti archeologici e alle splendide dimore rinascimentali, determinano la bellezza di una città che non trova facile confronto per importanza storica, bellezza paesaggistica, ricchezze architettoniche ed eccellenza enogastronomica, tra cui svetta il famoso vino conosciuto e apprezzato in tutto il mondo.



*Villa Aldobrandini.*

## CAPITOLO 4

### LA CITTÀ DI ORSAY



**Comune di Orsay: provincia di "Île de France"**

La storia di Orsay comincia durante la dinastia dei Merovingi nel 754, ma è nel 999, al momento delle guerre feudali, che l'esistenza del villaggio di Orsay è documentata per la prima volta. Nel 1151 inizia la costruzione della chiesa romanica dedicata a San Martino. Verso l'inizio del XV secolo la famiglia Raguier incomincia a costruire ad Orsay un castello, demolito nel corso della storia. Charles Boucher, discendente della famiglia, eletto Prévôt des marchands di Parigi, presiede ai lavori di bonifica del "quai de la Grenouillère" a Parigi. Luigi XIV gli attribuisce, in suo onore, il nome di quai d'Orsay, che diventa più tardi il simbolo della diplomazia francese. L'odierna Bouvêche, antico castello di Orsay ed attuale sala culturale gestita dal Comune di Orsay, è stata costruita durante il XVII secolo.



*La Bouvêche.*

La nascita ufficiale del Comune avviene nel 1790. A partire dal 1815, i piani di sviluppo sociale si intensificano nella cittadina con la creazione di un ospedale e di una scuola per i più poveri e sono accompagnati da piani di sviluppo tecnici quali la linea ferroviaria che viene prolungata da Bourg-la-Reine ad Orsay. Nel 1873, Orsay si urbanizza e viene costruito l'attuale municipio. Nel 1901, Orsay annovera 1 850 abitanti. Nel periodo tra le due guerre, la pianificazione e

l'urbanizzazione di Orsay continuano con la creazione di aree residenziali. Così, nel corso dei secoli, Orsay ha saputo modificare il suo volto, passando dallo stato di semplice borgo a quello di un comune in pieno sviluppo.

Alle porte di Parigi, e a quelle della Valle di Chevreuse, Orsay gode di una posizione geografica molto privilegiata nell'Île-de-France. Servita da due stazioni della RER, da una grande rete stradale ed autostradale e vicina alle stazioni ferroviarie TGV (alta velocità) e agli aeroporti, è completamente inserita nel dinamismo della regione Île-de-France.

"Città – Comune", Orsay conta oggi circa 17 000 abitanti su un territorio di 776



*La città di Orsay, vista dal tetto del Municipio.*

ettari di cui 20 di aree verdi e 60 di spazi boschivi repertoriati. La città è animata da un tessuto associativo ricco ed eterogeneo con circa 200 associazioni. Ci sono sei asili nido, sei scuole materne, cinque scuole elementari, tre scuole medie inferiori, due licei, un Centro Ospedaliero. La politica culturale è rappresentata soprattutto grazie ad una sala spettacolo e ad un cinema.

Orsay è membro della Comunità di Agglomerazione dell'altopiano di Saclay, il CAPS, che raggruppa 10 comuni e rappresenta in totale 100 000 abitanti, 4 000 imprese e 13 zone d'attività economica. L'obiettivo della Comunità di Agglomerazione è di massimizzare la qualità del servizio reso e di condividere le risorse per guadagnare in efficacia (creazione di una rete di biblioteche e mediateche, trasferimento della rete stradale). La vita economica locale è molto ricca. Più di 600 società, negozi, artigiani e liberi professionisti esercitano la loro attività ad Orsay.

La facoltà di Scienze occupa 236 ettari del campus di Orsay, su un sito di particolare valore di 136 ettari di foresta contenente specie rare repertorate ed un orto botanico. Accoglie più di 9.500 studenti, 1.500 insegnanti e ricercatori, 1.650 tra personale amministrativo e tecnico così come 1.500 tesisti. La formazione e la ricerca coprono ambiti quali la biologia, la chimica, l'informatica, la matematica, la fisica e le scienze della Terra e dell'Universo.

Nel 1954 vengono scelti dei terreni nella valle di Chevreuse per permettere l'estensione dell'Institut du Radium diretto da Irène Joliot-Curie. L'indipendenza della facoltà di scienze di Orsay è riconosciuta nel 1965. Attualmente, più di 120 laboratori conducono ricerche riguardanti i principali settori della scienza odierna. L'insediamento del campus nel territorio di Orsay, nelle vicinanze del CEA (Centre Energie Atomique) di Saclay e dei laboratori del CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), ha trasportato numerosi edifici, istituti, laboratori, Grandes Écoles nella regione, rafforzando la vocazione universitaria e scientifica dell'altopiano di Saclay e della Valle del fiume Yvette.

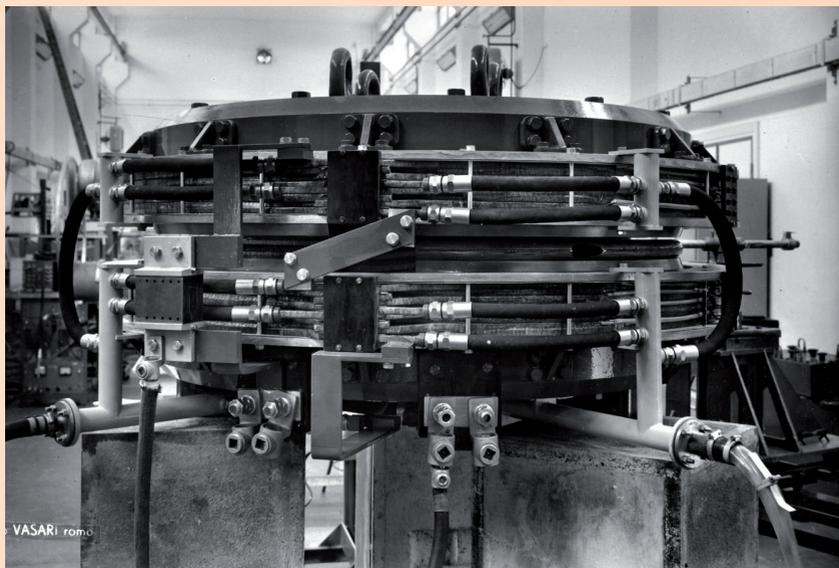
All'incrocio tra Parigi, la valle di Chevreuse, e in pieno raggruppamento scientifico, Orsay è per definizione una città aperta sull'Europa e interessata a sviluppare le proprie relazioni internazionali. Orsay ha costituito dei vincoli privilegiati con tre comuni: Kempen (Germania), Vila Nova de Paiva (Portogallo) e Dogondoutchi (Niger); due gemellaggi europei e una cooperazione decentralizzata con l'Africa per aprirsi agli altri, interagire, condividere ed arricchirsi sulla base dell'interazione con culture differenti.



*Municipio di Orsay.*

## CAPITOLO 5

### AdA E BRUNO TOUSCHEK



*AdA.*

Nel 1960, ai LNF, il fisico Bruno Touschek propose di realizzare il prototipo di una macchina acceleratrice di concezione assolutamente nuova: AdA, un anello di accumulazione dove elettroni e positroni avrebbero circolato in versi opposti nella stessa camera a vuoto incontrandosi centinaia di milioni di volte al secondo. Accanto alle nuove possibilità offerte dallo studio della fisica dei processi di annichilazione materia-antimateria, un anello di collisione presenta il vantaggio di rendere disponibile l'intera somma delle energie dei due fasci per la creazione di nuove particelle, tramite una riconversione basata sull'equivalenza tra massa ed energia regolata dall'equazione di Einstein  $E=mc^2$ . La proposta di Touschek utilizzava il vantaggio cinematico rappresentato da collisioni nel centro di massa, perseguendo un'idea che Rolf Widerøe aveva avuto nel 1943, di cui aveva parlato a Touschek, e che in seguito aveva anche brevettato.

Alla fine degli anni '50, le collisioni nel centro di massa, che rimane a riposo prima e durante la collisione, erano perseguite dagli americani con il progetto

Princeton-Stanford di anelli di elettroni tangenti, e rappresentavano una caratteristica innovativa rispetto agli acceleratori tradizionali in cui un singolo fascio viene usato per bombardare un bersaglio fisso, e in cui una notevole quantità dell'energia originaria rimane utilizzata per il movimento del centro di massa. Tuttavia, l'idea di Touschek di fare scontrare particelle e antiparticelle nel centro di massa rappresentava una fondamentale innovazione rispetto al progetto americano, il quale consentiva di accedere solo a un numero limitato di stati finali. Questo è dovuto al fatto che i due elettroni nello stato iniziale corrispondono a una carica negativa doppia che deve essere presente anche dopo la collisione (per la conservazione della carica elettrica). Al contrario, nel caso dello scontro fra elettroni e positroni, poiché la carica totale è zero, gli elettroni e i positroni possono scomparire, rilasciando tutta la loro energia per creare nuovi stati finali.

Sotto la guida di Bruno Touschek, un piccolo gruppo formato da Carlo Bernardini, Giorgio Ghigo e Gianfranco Corazza si dedicò al progetto e alla costruzione di AdA. La struttura di AdA consisteva di una camera a vuoto a forma di ciambella del diametro di 160 cm, inserita in un magnete del peso di 8,5 tonnellate in grado di mantenere in orbita nell'anello fasci dell'energia di circa 200 MeV. Giancarlo Sacerdoti si occupò del magnete e Mario Puglisi (coadiuvato da Antonio Massarotti e Dino Fabiani) ebbe l'incarico di mettere a punto la cavità a radiofrequenza, necessaria a fornire energia alle particelle del fascio. Al gruppo originario si unirono più tardi Giuseppe Di Giugno e Ruggero Querzoli.

Il 27 febbraio 1961 i primi elettroni circolarono in AdA. La prima sfida era stata quella di riuscire ad assicurare la vita del fascio per tempi abbastanza lunghi. Questo richiedeva che nella camera di AdA vi fosse un vuoto molto spinto, ben al di là della tecnologia esistente in quell'epoca. Questo obiettivo venne raggiunto da Gianfranco Corazza. A quell'epoca, inoltre, nessuno aveva ancora mai prodotto e accumulato un fascio di positroni e non era per nulla scontato che essi si sarebbero effettivamente incontrati con gli elettroni che circolavano sulla stessa orbita in verso opposto. Gli studi preliminari, svolti successivamente quando AdA fu portata ad Orsay, misero in luce nuovi aspetti della fisica degli acceleratori, in particolare legati all'interazione fra le particelle che compongono il fascio. Si scoprì infatti che la vita di un fascio diminuisce con l'aumentare della densità spaziale delle particelle che lo compongono: Touschek spiegò il fenomeno (detto oggi effetto Touschek) come dovuto ad urti fra le particelle, che causavano l'espulsione di queste dal fascio. Per

limitare questa perdita vennero messe a punto delle opportune tecniche di manipolazione dei fasci, mediante modulazioni dei campi elettromagnetici.

AdA confermò la possibilità di accumulare elettroni e positroni per ore in un anello, ma non era in grado di osservare reazioni di annichilazione con produzione di nuove particelle. Tuttavia, la prova definitiva dell'esistenza delle condizioni per cui i due fasci si incontravano fu fornita dall'osservazione del processo di produzione di un fotone nell'urto elettrone-positrone che concluse la sperimentazione con AdA nella primavera del 1964. A quell'epoca era stato già varato il progetto per la costruzione di un anello molto più grande, ADONE, una macchina da 1.500 MeV, che entrò in funzione nei LNF nel 1967.



AdA ebbe una vita scientifica breve, ma resta una pietra miliare nella storia della scienza. Altri anelli per elettroni e positroni seguirono e divennero uno dei più potenti strumenti della moderna fisica delle alte energie, in una linea di ricerca culminata, alla fine degli anni '80, con la macchina LEP, il grande anello di collisione elettrone-positrone del CERN, realizzato in un tunnel sotterraneo di 27 km di circonferenza, uno strumento scientifico di grande potenza e precisione che ha confermato l'esistenza di tre famiglie di quark e leptoni.

Il concetto di collisione materia-antimateria si è evoluto estendendosi ai collisori protone-antiprotone e ora, con il Large Hadron Collider (LHC) in funzione al CERN, alle collisioni protone-protone, tramite cui è possibile studiare le collisioni quark-antiquark. Con LHC, una macchina da 7 TeV per fascio, i fisici sperano di raggiungere una serie di nuovi obiettivi, tra cui i principali sono la ricerca del bosone di Higgs e quella di segnali concreti dell'esistenza di una fisica oltre il Modello Standard, come le particelle supersimmetriche.

## Chi era Bruno Touschek ?

Bruno Touschek è stato uno dei grandi fisici della seconda metà del Novecento che ha utilizzato la sua conoscenza della fisica teorica e l'esperienza fatta in Germania con Widerøe per concepire, proporre e costruire la prima macchina acceleratrice di materia e antimateria e portare una maggior conoscenza del mondo in cui viviamo.

Nato a Vienna nel 1921, brillante negli studi, dopo l'annessione dell'Austria alla Germania nel marzo 1938, iniziò a incontrare gravi difficoltà a causa dell'origine ebrea da parte materna. Riuscì comunque a diplomarsi e iscriversi all'università, che però ben presto e sempre per motivi razziali, dovette lasciare. Grazie ad alcuni amici continuò gli studi ad Amburgo dove nessuno conosceva le sue origini, adattandosi a fare diversi lavori contemporaneamente per poter sopravvivere.

Nel 1943 fu invitato da Rolf Widerøe a cooperare nella costruzione del betatrone. Dal 1943 al 1945, Touschek concepì e collaborò a molti lavori sulla fisica delle macchine acceleratrici di particelle, presentando anche diversi brevetti.

Quando Touschek fu arrestato dalla Gestapo nel Marzo 1945, Widerøe lo andò a trovare in prigione, portando cibo, libri e sigarette. Scampato incredibilmente alla morte durante il trasporto al campo di concentramento di Kiel, nel 1946 si laureò all'Università di Göttingen e cominciò a lavorare al Max Planck Institut.

Nel febbraio del 1947 si trasferì a Glasgow dove ottenne una borsa di studio presso il Dipartimento della Ricerca Scientifica e Industriale, lavorando con un altro grande studioso di macchine acceleratrici, Philip I. Dee. Nel 1949, dopo aver ottenuto il dottorato di ricerca, PhD, fu nominato Lettore Ufficiale in Filosofia della Natura all'Università di Glasgow, posizione che mantenne fino al 1952 quando si trasferì a Roma dove risiedeva una zia materna, Adele, detta anche Ada. Cominciò così a frequentare l'ambiente scientifico romano e quando ottenne un incarico come ricercatore all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, decise di rimanere in Italia in modo permanente. Tre anni dopo tornò a Glasgow per sposare Elspeth Yonge, figlia di un noto professore di zoologia dell'Università di Glasgow, dalla quale ebbe due figli.

Dall'autunno del 1959 Touschek sottolineò l'importanza di esplorare la fisica dei processi di annichilazione elettrone-positrone. Le discussioni tenutesi a Roma ed a Frascati circa la possibilità concreta di interessarsi alla fisica

e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> ispirarono alcuni articoli di Laurie Brown e Francesco Calogero nonché di Raoul Gatto e Nicola Cabibbo.



*Bruno Touschek.*

Il 7 marzo del 1960 Touschek tenne un seminario presso i Laboratori Nazionali di Frascati dimostrando per la prima volta l'importanza di uno studio sistematico delle collisioni elettrone-positrone e della possibilità di realizzarle costruendo un unico anello magnetico nel quale pacchetti di elettroni e positroni circolassero alla stessa energia ma in versi opposti. In meno di un anno, Touschek e collaboratori realizzarono il prototipo della macchina acceleratrice materia-antimateria AdA (Anello di Accumulazione). Fu una fortunata coincidenza che il nome della macchina corrispondesse a quello della zia di Touschek, la zia Adele, a cui era stato sempre molto vicino fin dalle sue prime visite in Italia, negli anni '30.

### **Quale fu l'idea di Touschek ?**

Il genio di Bruno Touschek fu di concepire AdA e di capire come si poteva realizzarla, proponendo l'idea nel luogo e nel momento giusti. A Frascati era stato appena completato il Sincrotrone, una macchina acceleratrice la cui costruzione aveva richiesto uno sforzo scientifico, tecnologico e organizzativo di grande livello. Erano dunque già a disposizione i laboratori, gli scienziati, i tecnici. In quel momento inoltre, in tutto il mondo si cercavano nuove tecniche per raggiungere energie più elevate di quelle permesse dagli acceleratori

convenzionali e la comunità scientifica era pronta ad accogliere l'idea di Touschek.

La storia della fisica subnucleare a partire dagli anni '60 del XX secolo mostra chiaramente come lo studio delle collisioni elettrone-positrone ad alta energia sia stato uno dei mezzi principali per studiare la struttura intima della materia, confermando le previsioni di Bruno Touschek sulla ricchezza dei processi di interazione elettrone-positrone in ogni nuovo dominio energetico esplorato.

AdA rappresenta una pietra miliare nella storia della scienza segnando l'origine della più proficua linea di mezzi strumentali per la conquista della frontiera dell'infinitamente piccolo. Dopo la messa in opera nel 1961, AdA fu trasportata a Orsay, in Francia, dove l'Acceleratore Lineare si rivelò essere l'iniettore adatto a migliorarne la luminosità, permettendo molte misure importanti sulla fisica degli anelli di accumulazione, fra cui l'Effetto Touschek.

Successivamente, Touschek seguì con grande interesse le fasi di progettazione e costruzione di ADONE (1965-1967) dedicandosi in particolare alla fisica dei fasci.

Ottimo disegnatore Touschek riuscì a rappresentare il mondo accademico con estrema ironia: "Bruno possedeva una dote naturale nel fare caricature, che disegnava con una penna sul primo pezzo di carta che trovava, durante le sessioni d'esame all'Università, oppure durante i meeting o i gruppi di lavoro, caricature attinenti le attività dell'Istituto o dei Laboratori di Frascati" (Eduardo Amaldi).



*Disegno di Touschek che rappresenta il fisico T. D. Lee, Premio Nobel per la Fisica 1957 per la scoperta della violazione della parità nelle interazioni deboli.*

## CAPITOLO 6

### AdA A ORSAY



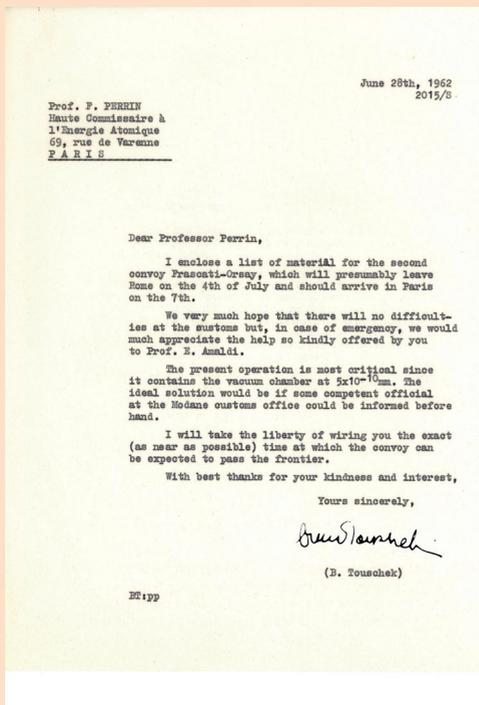
*Veduta dell'iniettore  
dell'acceleratore lineare  
di Orsay.*

Nel 1962, all'inizio dell'estate, AdA fu trasferita in Francia, al Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (LAL) di Orsay, nelle vicinanze di Parigi, dove era disponibile un acceleratore lineare ad alta intensità, il LINAC. Questo trasferimento portò alla prima prova sperimentale di collisioni fra elettroni e positroni in un anello di accumulazione. Si apriva così la strada alla fisica elettrone-positrone.

Tutto era cominciato con una visita di Pierre Marin (1927-2002) a Frascati. Dopo un soggiorno al CERN, Pierre Marin, un giovane ricercatore che avrebbe poi giocato un ruolo di primo piano nel contributo francese alla costruzione di acceleratori nell'Europa del dopoguerra (in particolare con la macchina ACO) doveva decidere in che direzione orientare le sue ricerche. Qualcuno gli disse che a Frascati "[il] se passait des choses qui intriguaient les esprits". E così nell'estate del 1961, Pierre Marin venne a Frascati, dove fu preso dall'entusiasmo per AdA, che definì "un vrai bijou". Tornato a Parigi, nel tardo settembre 1961, presentò al Direttore del LAL una relazione sulla sua visita, nella quale descriveva quel che aveva visto a Frascati e prospettava una collaborazione tra Frascati e Orsay.

La visita di Marin fu seguita da uno scambio di lettere tra Roma, Frascati ed Orsay. Il 22 dicembre del 1961, André Blanc-Lapierre, il direttore del LAL, scrisse ad Italo Federico Quercia, direttore dei Laboratori di Frascati, che erano stati intrapresi degli studi preliminari in vista della costruzione di un anello di accumulazione per elettroni e positroni di 1.3 GeV e propose una visita di ricercatori francesi di Orsay nell'immediato futuro. François Fer, Pierre Marin e Boris Milman si recarono così a Frascati all'inizio del 1962. Durante le loro discussioni con Carlo Bernardini e Bruno Touschek, l'idea di trasferire AdA ad Orsay e di ottenere una luminosità più elevata grazie all'alta intensità del LINAC di Orsay, divenne concreta. All'inizio del mese di aprile venne presa la decisione di trasferire AdA al LAL e il trasferimento di AdA ad Orsay venne organizzato.

All'inizio del mese di luglio del 1962, AdA fu imballata su un grande camion che doveva attraversare le Alpi con la ciambella completamente sotto vuoto e con le batterie che dovevano alimentare le pompe da vuoto per tre giorni: a quei tempi, erano necessari dei mesi per ottenere il vuoto estremo richiesto da AdA e non ci si poteva permettere di perdere tempo prezioso per riprodurlo da capo.



*Lettera di Touschek a Francis Perrin, in cui si annuncia il trasferimento di AdA ad Orsay nel luglio del 1962.*

Quando il camion giunse alla frontiera italo-francese, i doganieri vollero ispezionare l'interno dell'anello di accumulazione. Cosa conteneva? "Vuoto, ed il migliore possibile", fu la risposta non abbastanza esauriente per i doganieri zelanti. Ci vollero interventi diplomatici ai più alti livelli prima che AdA potesse attraversare la frontiera tra l'Italia e la Francia con il suo vuoto ancora intatto. Secondo Jacques Haïssinski, che ha lavorato ad Orsay su AdA per la sua tesi di dottorato, "Fu necessario l'intervento di Francis Perrin, all'epoca Alto Commissario per l'Energia Atomica, per superare l'ostacolo". Carlo Bernardini ricorda anche gli interventi dal lato italiano, con Edoardo Amaldi, Direttore del Dipartimento di Fisica di Roma, che aveva contattato il Ministero italiano degli Affari Esteri, e per suo tramite, le autorità francesi.

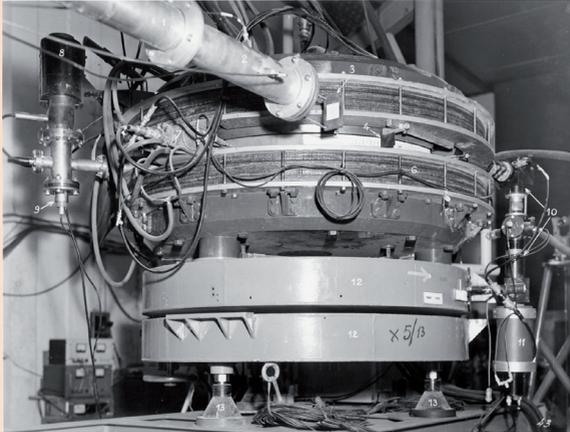


*Pierre Marin (a destra) e Jacques Haïssinski.*

Entro l'agosto del 1962 AdA fu installata ad Orsay. Nel corso di tale operazione, AdA fu quasi schiacciata contro un muro mentre veniva trasportata da un grosso carro ponte nella sua postazione finale. Fu Pierre Marin che, avvertito dalle grida della squadra italiana, corse verso il quadro dei comandi e premette sui bottoni che evitarono l'incidente. In seguito, un rivelatore, che stava per essere spostato nelle vicinanze di AdA, oscillò e ruppe il piede di Pierre Marin. Nessuna di tali peripezie riuscì però a spegnere l'entusiasmo e il dinamismo del gruppo italo-francese, di cui Jacques Haïssinski entrò a far parte nell'autunno del 1962.

Ad Orsay, grazie all'acceleratore lineare, furono osservate le collisioni elettrone-positrone e diversi effetti importanti di dinamica dei fasci. Uno di essi

è l'effetto Touschek, immediatamente compreso e rapidamente spiegato da Touschek stesso. Tale effetto che limita la luminosità della macchina, si manifesta mediante una diminuzione progressiva della durata di vita dei fasci mentre il numero di particelle immagazzinate aumenta. Esso risulta essere ancora uno degli effetti che limitano la durata della vita dei fasci negli acceleratori odierni.



*AdA al LAL.*

In tal modo AdA ha aperto la strada alle macchine che scopriranno in seguito nuove particelle fondamentali e porteranno alla conferma sperimentale del Modello Standard.

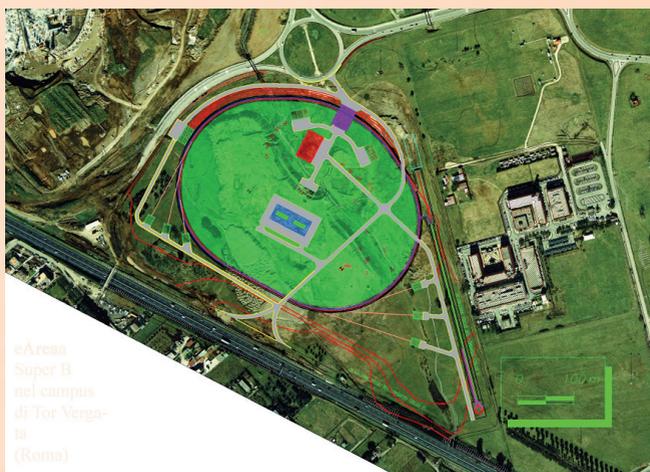


*Il Café de la Gare ad Orsay oggi. Lì, nel marzo del 1963, Bruno Touschek ha trascorso una notte a fare calcoli con l'intento di spiegare il fenomeno che provoca la diminuzione della durata della vita dei fasci dell'acceleratore AdA, che all'epoca era in funzione ad Orsay. Tale fenomeno, denotato come "effetto Touschek", è conosciuto al giorno d'oggi da tutti i costruttori di acceleratori.*

## CAPITOLO 7

### SuperB

La SuperB Factory è il grande centro di ricerca internazionale per la fisica fondamentale e applicata, proposto dall'INFN e primo nella lista dei 14 progetti bandiera del Piano di Ricerca Nazionale del MIUR e approvati dal CIPE. Il progetto prevede la costruzione di un grande anello acceleratore, in cui si scontreranno elettroni e positroni. Situato in un'area di circa 30 ettari del campus dell'Università di Roma Tor Vergata, sarà ben collegato con i vicini Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN.



*Rappresentazione dell'acceleratore SuperB nel campus dell'Università Tor Vergata.*

L'obiettivo dei fisici è quello di gettare luce su alcune delle grandi questioni della fisica contemporanea. Ad esempio sui meccanismi che hanno prodotto la scomparsa dell'antimateria poco dopo il Big Bang, ai primordi della storia del nostro Universo o sulle forze che tengono uniti i componenti fondamentali della materia. Il programma di ricerca di SuperB è del tutto complementare a quello della grande macchina del CERN LHC, poiché i due acceleratori si affacciano verso due diverse frontiere della fisica sperimentale delle alte energie: intensità ed energia. SuperB punterà ad aumentare l'intensità delle collisioni dei fasci di particelle e quindi la produzione di fenomeni fisici estremamente rari e non ancora esplorati. LHC invece ha aumentato in modo straordinario l'energia a

cui avvengono le collisioni, indagando la nuova fisica prodotta in questo modo. Il balzo in avanti della luminosità (ovvero del numero di collisioni) di SuperB si basa su idee sviluppate in Italia e sperimentate dalla Divisione Acceleratori dei Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, con la macchina DAΦNE.

La stessa infrastruttura però fornirà nuove tecnologie e avanzati strumenti di sperimentazione alle ricerche di fisica della materia, biologia, nanotecnologie e biomedicina. SuperB offrirà infatti a un'ampia comunità scientifica interdisciplinare, italiana e internazionale, la possibilità di utilizzare le linee di luce disposte lungo la tangente alla macchina. In diverse di queste facilities verrà raccolta e indirizzata la cosiddetta "luce di sincrotrone" emessa dagli elettroni nella loro corsa nell'acceleratore. Fasci di luce con caratteristiche uniche per coerenza e collimazione consentiranno di visualizzare strutture biologiche o inorganiche a una risoluzione mai raggiunta e di scattare delle "microistantanee" dei processi biochimici in atto. Potranno essere utilizzati nella costruzione di nanostrutture o di componenti elettronici. Saranno utili per la sintesi di nuovi farmaci o materiali innovativi. Non a caso l'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT) ha partecipato alla fase di gestazione del progetto e sarà uno dei fruitori dell'acceleratore come sorgente di luce ad alta brillantezza. La collocazione a Tor Vergata inoltre apre naturalmente la collaborazione all'intera comunità accademica italiana e agli enti di ricerca che risiedono nella stessa area.

È la prima volta che una macchina acceleratrice viene progettata fin dall'inizio per soddisfare allo stesso tempo le esigenze della fisica fondamentale e di quella applicata. SuperB rappresenta una storica occasione di incontro di queste due importanti comunità internazionali e allo stesso tempo la possibilità di valorizzare significativi settori della ricerca italiana. Il progetto si inquadra naturalmente in un contesto di collaborazioni internazionali e contribuirà a rafforzare il primato europeo nella fisica delle alte energie, che ha già un suo solido faro nel CERN di Ginevra. Va infine ricordato, a sottolineare l'importanza dell'iniziativa, che per l'operatività di SuperB sarà coinvolta, a pieno regime, una comunità scientifica di oltre mille scienziati e tecnici.

Il progetto, il cui costo è pari ad alcune centinaia di milioni di euro, è stato finanziato dal documento di programmazione economica del CIPE per 250 milioni di euro. L'enorme mole di dati prodotta dagli esperimenti di fisica fondamentale, così come dalle ricerche multidisciplinari collegate alla macchina, sarà inoltre memorizzata, elaborata e analizzata da una rete di risorse calcolo e memoria, distribuite sul territorio nazionale. In particolare nuovi grandi nodi di

calcolo e smistamento dei dati saranno realizzati in diverse regioni dell'Italia del Sud e affiancheranno il centro di calcolo del CNAF – INFN di Bologna, uno degli 11 nodi di primo livello della rete mondiale GRID per l'elaborazione e l'analisi dei dati di LHC. I nuovi centri di calcolo diverranno infine una preziosa risorsa per l'informatizzazione e le reti informatiche legate a servizi sul territorio.



*Simulazione della zona di interazione del collisore SuperB.*

## Crediti

Questa brochure è stata realizzata dai Laboratori Nazionali di Frascati (INFN, <http://www.Inf.infn.it/public>, LNF) e il Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire (IN2P3/CNRS e Université Paris Sud, <http://www.lal.in2p3.fr>, LAL).

### **Testi**

Nicolas ARNAUD – LAL, [narnaud@lal.in2p3.fr](mailto:narnaud@lal.in2p3.fr)

Danilo BABUSCI – LNF, [danilo.babusci@Inf.infn.it](mailto:danilo.babusci@Inf.infn.it)

Romeo BASSOLI – Ufficio Comunicazione INFN

Luisa BONOLIS – Associazione per l'Insegnamento della Fisica  
e Scuola di Storia della Fisica

Rossana CENTIONI – Ufficio Comunicazione e Informazione Scientifica LNF

Giulia PANCHERI – LNF

Comune di FRASCATI

Comune di ORSAY

### **Traduzioni**

Monica VARVELLA, *Verba In Itinere*, <http://www.proz.com/profile/759269>

### **Impaginazione & progetto grafico**

Dominique BONY & Bruno MAZOYER – SIST/LAL

### **Crediti delle illustrazioni**

P. 5, 7, 20: Archivio SIDS-LNF

P. 8, 11, 24, 27: Archivio LAL

P. 13, 14: Archivio Comune di Frascati

P. 15, 16, 17: Archivio Comune di Orsay

P. 18: Foto Vasari, Roma

P. 22, 23: Cortesia della famiglia Touschek

P. 25: Archivio Touschek, Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma

P. 26: Cortesia della famiglia Haïssinski

P. 27: L. Bonolis, 2011

P. 28: Divisione Acceleratori dei LNF

P. 30: SuperB

