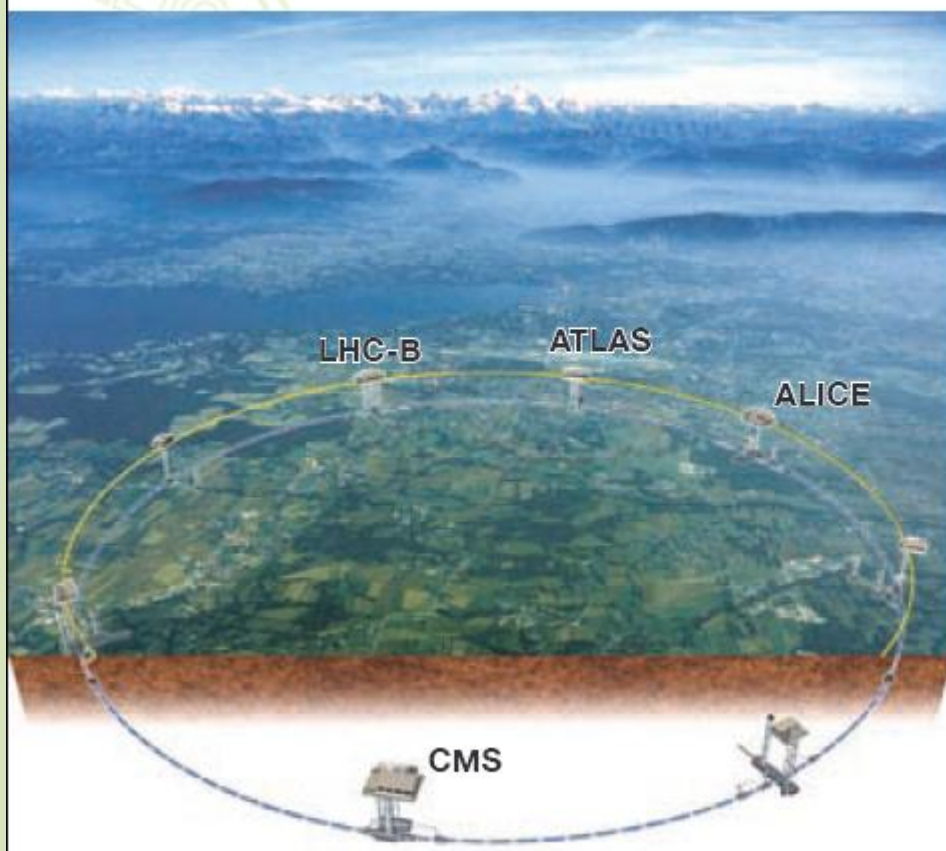


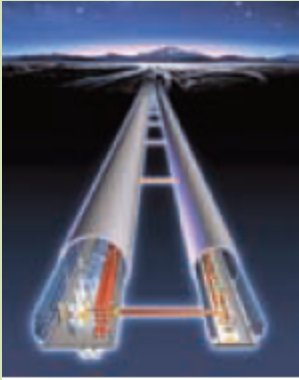
## La ricerca con gli acceleratori

Lo strumento d'indagine fondamentale nella fisica subnucleare e nucleare è costituito dalla combinazione di macchine acceleratrici e rivelatori di particelle. L'obiettivo di questi apparati è fare avvenire scontri fra costituenti degli atomi, quali elettroni, protoni e nuclei, e studiarne le conseguenze per ricavare informazioni sulla struttura delle particelle e sulle loro interazioni, di fatto sulla natura e la vita dell'Universo. Una macchina acceleratrice prende il nome di *collisore* quando in essa vengono accelerati e fatti scontrare fra loro due fasci di particelle, mentre in un semplice acceleratore un solo fascio di



### Schema di Lhc

Vista aerea della zona dove, a circa 100 m di profondità, è situato il tunnel del collisore Lhc. La sua circonferenza è di 27 chilometri e vi saranno installati quattro grandi esperimenti: Alice, Atlas, Cms, e Lhc-b, nelle posizioni mostrate. Le altre strutture sono di supporto. (foto Cern)



### Linear Collider

Gli strumenti richiesti dalla fisica della particelle sono estremamente complessi, al punto che molto spesso la necessità stessa di costruirli serve da traino per la creazione di innovazioni tecnologiche fino a quel momento impensate. D'altro canto, ciò implica che i tempi necessari per progettare una nuova macchina possono essere estremamente lunghi. Ecco perché, mentre Lhc non è ancora entrato in funzione, da vari anni si sta già pensando a nuovi acceleratori con prestazioni complementari, i quali forniranno informazioni di tipo diverso, fondamentali per avere un quadro più completo. Attualmente gli sforzi internazionali si stanno unendo per costruire un acceleratore lineare, chiamato appunto Linear Collider. In quest'ultimo verranno fatti scontrare elettroni e positroni. Nell'agosto del 2004 il gruppo internazionale deputato a scegliere la tecnologia di base per accelerare le particelle all'interno del Linear Collider ha optato per la cosiddetta tecnologia "fredda", la quale prevede che le particelle vengano accelerate con tecnologie superconduttive e si muovano in canali magnetici ottenuti con materiali superconduttori a bassissime temperature. La tecnologia fredda è frutto anche dell'impegno italiano nell'attività di ricerca e sviluppo svolta in collaborazione fra il laboratorio Desy di Amburgo e l'Infn. Molte scelte però restano da fare prima che il Linear Collider divenga realtà, compresa quella della nazione che dovrà ospitarlo. (in figura una immagine artistica del Linear Collider. Foto Kek)

particelle viene accelerato e scagliato contro un bersaglio fisso. Il prototipo e precursore degli attuali collisori è stato AdA (Anello di Annichilazione): fu il primo importante progetto Infn, venne costruito a Frascati ed entrò in funzione nel 1960. In particolare in AdA venivano accelerati e fatti scontrare due diversi tipi di particelle: elettroni e positroni (particelle di antimateria, identiche agli elettroni ma dotate di carica positiva). In seguito agli urti, esse si annichilavano, trasformandosi prima in energia pura e poi in particelle e antiparticelle di tipo diverso. Oggi la tecnica iniziata con Ada, viene sfruttata per far scontrare particelle di energia sempre più elevata la quale viene fornita all'interno delle macchine acceleratrici grazie a "spinte" successive, impresse per effetto di una serie di campi elettromagnetici. Un po' come una palla da tennis che, durante il suo volo, riceve colpi in successione. Facendo scontrare particelle dotate di energia sempre maggiore, si ottengono urti che liberano una energia sempre più grande e che generano particelle mai osservate prima. Le zone all'interno degli acceleratori dove avvengono gli scontri, dette zone di collisione, sono circondate da rivelatori composti da diversi tipi di dispositivi, ognuno dei quali misura specifiche proprietà delle nuove particelle generate negli urti. La necessità di utilizzare collisori e rivelatori sempre più grandi e complessi ha avuto come conseguenza la concentrazione delle ricerche in fisica subnucleare e nucleare in grandi centri internazionali e ha dato vita a collaborazioni sempre più complesse tra i ricercatori del settore. Ciò ha gradualmente intensificato l'attività di ricercatori italiani all'estero, mentre è aumentata parallelamente la presenza in Italia di scienziati stranieri impegnati in progetti sperimentali nei laboratori Infn. La sfida internazionale più ambiziosa cui l'Infn partecipa è attualmente il progetto Lhc presso il Cern di Ginevra. Comprende un collisore in cui saranno accelerati ad altissima energia e fatti scontrare fasci di protoni o di nuclei di piombo, e quattro

rivelatori, progettati per registrare i prodotti degli scontri. L'intera infrastruttura strumentale avrà dimensioni e complessità senza precedenti nella storia della fisica fondamentale. L'obiettivo è ottenere urti che generino una energia sufficiente a produrre lo sfuggente bosone di Higgs e che siano abbastanza numerosi per permettere l'osservazione di un numero adeguato di queste particelle così da studiarne le caratteristiche (il bosone di Higgs è considerato fondamentale per spiegare come mai le particelle sono dotate di massa). Presso Lhc, gli esperimenti Atlas e Cms hanno proprio come scopo principale dimostrare l'esistenza del bosone di Higgs. Presso Lhc sarà in funzione anche l'esperimento Lhcb, il quale mira invece a studiare come si sia creata la asimmetria tra materia e antimateria a causa della quale attualmente nel nostro Universo sembrano essere rimaste solo le particelle che costituiscono la materia ordinaria, formata da protoni, neutroni ed elettroni. In particolare in Lhcb verranno analizzate le piccolissime differenze di comportamento fra particelle chiamate mesoni B e mesoni anti-B, prodotte in seguito agli urti fra protoni.

In Italia, i Laboratori Nazionali di Frascati sono operativi dal 1959 e hanno ospitato esperimenti di rilevanza storica. Qui, dopo il collisore AdA è stato concepito e realizzato il suo successore Adone. Quest'ultimo ha fornito indizi fondamentali grazie ai quali si è scoperto che ciascun quark può esistere in tre forme distinte chiamate "colori" (il "colore" è la proprietà che determina l'interazione forte dei quark, così come la carica elettrica determina l'interazione elettromagnetica). Nel 1997 è entrato in funzione Dafne, un collisore nel quale sono fatti scontrare elettroni e positroni in modo da generare un grande numero di mesoni K e di mesoni anti-K. Entrambe queste particelle sono formate da una coppia quark-antiquark: una particolarità che viene sfruttata nell'esperimento Kloe, installato presso Dafne, per studiare

### 1-2. Kloe; camera a fili, più "scatola chiusa"

Vista dell'interno della "camera a fili" dell'esperimento Kloe presso i Laboratori Nazionali di Frascati.

Gli anelli luminosi incrociati sono riflessioni di luce su circa 50.000 fili di tungsteno e alluminio.

La camera a fili normalmente è racchiusa in un contenitore cilindrico (immagine 2) riempito con una miscela di gas. Quando una particella attraversa la camera, ionizza il gas inducendo segnali elettrici sui fili più vicini.

Questi segnali sono poi elaborati da computer in modo da ricostruire la traiettoria della particella stessa: un dato importante per risalire ad alcune sue caratteristiche.





1

### 1. Babar

Tracciatore di vertice al silicio (Svt) del rivelatore dell'esperimento BaBar, situato presso il laboratorio Slac in California.

Il tracciatore al silicio è una parte del rivelatore fondamentale per l'identificazione dei mesoni B e della loro controparte di antimateria, i mesoni anti-B: la sua progettazione e costruzione è uno dei contributi all'esperimento dei gruppi di ricercatori dell'Infn. BaBar è dedicato allo studio del diverso comportamento di materia e antimateria: nel 2004 sono stati pubblicati importanti risultati i quali dimostrano inconfutabilmente una netta differenza di comportamento tra i mesoni B e i mesoni anti-B.

Inoltre presso BaBar è stata recentemente scoperta una nuova particella chiamata Ds (2317), dotata di una massa pari a circa 2,5 volte quella del protone.

### 2. Cdf

Vista d'insieme di Cdf (Collider Detector al Fermilab), presso il Fermilab, a pochi chilometri da Chicago. È una delle più importanti collaborazioni fra Infn e Stati Uniti.

Il sistema di rivelazione permette di studiare le particelle prodotte negli urti tra protoni e antiprotoni e nei processi di decadimento successivi. È studiando queste collisioni che nel 1995 ricercatori americani, giapponesi e italiani hanno scoperto il quark top.

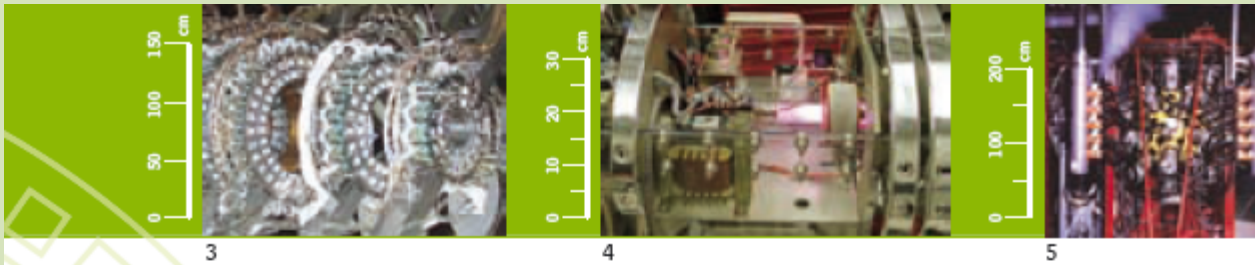
l'asimmetria tra materia e antimateria.

Anche la fisica nucleare affronta oggi un viaggio indietro nel tempo, ripercorrendo idealmente diverse fasi dell'evoluzione della materia, dal Big Bang fino a oggi. Pochi milionesimi di secondo dopo il Big Bang, nel giovanissimo Universo esisteva un particolare stato della materia, chiamato plasma di quark e gluoni, reso possibile da temperature dell'ordine di milioni di miliardi di gradi. In quel plasma primordiale i quark e i gluoni (le particelle responsabili della forza nucleare forte) erano liberi di muoversi su distanze relativamente grandi, ma dopo poche frazioni di secondo la temperatura scese al punto che essi si trovarono confinati all'interno dei neutroni, dei protoni e di altre particelle complesse.

Oggi sono in corso numerose ricerche che mirano a chiarire come si sia verificata questa transizione di fase, in particolare cercando di riprodurla tramite collisioni fra nuclei di elementi pesanti. Al Cern, presso il collisore Lhc, facendo collidere nuclei di piombo sarà possibile dar vita, per pochi istanti, a una piccolissima bolla di plasma di quark e gluoni, la quale verrà studiata dall'esperimento Alice (A Large Ion Collider Experiment) che ne misurerà simultaneamente tutte le proprietà interessanti: una ricerca che rappresenta la frontiera della moderna fisica nucleare. Anche il meccanismo di confinamento dei quark all'interno di particelle complesse come i protoni e i neutroni non è ancora del tutto chiarito. Per studiare i quark "confinati", oggi i fisici bersagliano

2





i nuclei con “sonde” costituite da fasci di fotoni ed elettroni. I ricercatori dell’Infn sono impegnati in prima linea in questo tipo di ricerche, principalmente utilizzando acceleratori presenti presso il Laboratorio Desy, ad Amburgo, e presso il Laboratorio Thomas Jefferson, negli Stati Uniti.

Le stelle comparvero nel nostro Universo quando esso si fu sufficientemente espanso e raffreddato. Al loro interno, per via delle reazioni di fusione nucleare, iniziarono a formarsi nuclei sempre più complessi. Questi processi sono studiati nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso grazie al piccolo acceleratore del progetto Luna: l’unico esperimento al mondo che consente di studiare la formazione dei nuclei a energie paragonabili a quelle che si trovano in una stella, molto più basse di quelle ottenute nei normali acceleratori. La localizzazione all’interno dei laboratori del Gran Sasso è cruciale perché essi si trovano nelle viscere di una montagna, sotto 1.400 metri di roccia: un luogo riparato dalla pioggia di particelle che dal Cosmo raggiunge in continuazione la Terra e che disturberebbe le delicate misure eseguite da Luna.

A Frascati è invece attivo, presso l’acceleratore Dafne, l’esperimento Finuda, dedicato allo studio dei cosiddetti ipernuclei: nuclei che al posto di un protone o di un neutrone contengono una particella lambda, composta da un quark up, un quark down e un quark strange.

Un altro fenomeno molto interessante è la formazione dei nuclei di massa superiore a quello del ferro. Essi sono prodotti all’interno di stelle di grandi dimensioni, in processi nei quali un ruolo importante può essere giocato anche da nuclei molto instabili, ad esempio nuclei che hanno assorbito molta energia o che sono dotati di un anomalo rapporto fra il numero di protoni e di neutroni. Gli acceleratori situati presso i laboratori nazionali di Legnaro e presso quelli del Sud sono fra i più importanti al mondo dedicati alla produzione e allo studio di questi nuclei “in condizioni estreme”.

### 3. Chimera

Il multirivelatore dell’esperimento Chimera, allestito presso i Laboratori Nazionali del Sud per identificare i frammenti emessi nelle reazioni tra ioni pesanti alle energie basse ed intermedie mediante la misura della loro carica e massa.

### 4. Luna

Presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso si trova l’acceleratore dell’esperimento Luna (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics), il cui obiettivo è riprodurre alcune reazioni che avvengono all’interno delle stelle, in particolare del Sole, e misurare la loro frequenza. Alcuni risultati dell’esperimento, resi noti nel 2004, hanno permesso di stimare l’età dell’Universo in circa 14 miliardi di anni: un miliardo di anni in più rispetto alla precedente stima.

### 5. Gasp

Particolare del rivelatore Gasp (Grande Array per Spettroscopia nucleare) per la rivelazione dei raggi gamma, presso i Laboratori Nazionali di Legnaro (Padova) dell’Infn. I raggi gamma sono fotoni con un’energia superiore a decine di milioni di elettronVolt (mentre l’energia dei fotoni che compongono la normale luce è di circa un elettronVolt). Per osservare i numerosi raggi gamma emessi in una reazione nucleare, sono necessari sistemi contenenti un gran numero di rivelatori, che circondano completamente il bersaglio nel quale si produce la reazione. Gasp è composto da 40 rivelatori di germanio, un materiale particolarmente adatto alla rivelazione dei raggi gamma.