

# Sommario

## Dossier LHC, il grande acceleratore di particelle

<b>Al CERN si è aperta una nuova frontiera per la conoscenza dell'Universo</b> di Rino Castaldi	4
<b>L'esperimento CMS</b> di Alberto Messineo	9
<b>L'esperimento ATLAS</b> di Chiara Roda	13
<b>L'esperimento TOTEM</b> di Stefano Lami	16

<b>Pisa e i Lorena</b> <i>Sovrani nel giardino d'Europa</i> di Michele Finelli	19
--------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Le tre giornate di Fiorano</b> <i>La monoposto dell'Università di Pisa ha debuttato in Formula SAE</i> di Antonella Magliocchi	24
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

# Athenet

*la rivista dell'Università di Pisa*

**Direttore responsabile:** Antonio R. D'Agnelli

**Condirettore:** Manuela Marini

**Redazione:**

Andrea Addobbati, Roberto Boldrini,  
Antonio R. D'Agnelli, Antonella Magliocchi,  
Manuela Marini, Bruno Sereni.

Lungarno Pacinotti 43 — PISA  
tel.: 050 2212113, fax: 050 2212678  
e-mail: [comunicazione@unipi.it](mailto:comunicazione@unipi.it)

**Grafica e impaginazione:** Bruno Sereni

**Athenet on-line:** [www.unipi.it/athenet](http://www.unipi.it/athenet)  
realizzazione tecnica: Barbara Del Vecchio

**Stampa:** tipografia universitaria

**Autorizzazione** n° 7 del 01-04-1981  
del Tribunale di Pisa



*La rivista viene spedita a domicilio a tutti i professori, ricercatori e dipendenti dell'Università di Pisa. La tiratura di questo numero è stata di 5.000 copie.*

**In copertina:**  
calco in gesso della Atena di Velletri, conservato presso la gipsoteca del dipartimento di Scienze Archeologiche dell'Università di Pisa.  
(foto: Fausto Gabrielli)

## *Ringraziamo per la collaborazione:*

Rino Castaldi, Michele Finelli, Massimo Guiggiani,  
Stefano Lami, Alberto Messineo,  
Chiara Roda, Lorenzo Varelli, Emilio Vitale.

Un particolare ringraziamento ai ragazzi dell'ETeam  
Squadra Corse.

# Editoriale

Era da tempo che le università italiane non vivevano un “autunno caldo” come quello appena trascorso. Quasi tutti gli atenei sono stati interessati da una straordinaria ondata di protesta contro i provvedimenti adottati dal governo con la legge numero 133 e anche Pisa ha vissuto una consistente mobilitazione, con prese di posizione forti da parte degli organi accademici e delle facoltà, con manifestazioni, incontri e assemblee pubbliche, con lezioni tenute all’aperto e con occupazioni più che altro simboliche. L’assemblea di Ateneo, convocata dal rettore al Polo Fibonacci, e il corteo che ha attraversato le vie della città, portando all’attenzione dell’opinione pubblica la gravità della situazione del sistema universitario italiano, hanno rappresentato il centro di questa mobilitazione, registrando una partecipazione massiccia che, stando ai ricordi di chi ha vissuto precedenti esperienze, non si vedeva da alcuni decenni.

Per qualche settimana i media hanno dato meno enfasi agli scandali e alle disfunzioni che indubbiamente persistono all’interno del mondo universitario e si sono soffermati invece sulla complessità e sulla ricchezza che caratterizza questa realtà. Hanno così sottolineato il potenziale che gli atenei potrebbero rappresentare per la crescita del nostro Paese, se solo fosse loro garantito un livello di finanziamento in linea con la media delle nazioni europee più avanzate.

Al centro del movimento di protesta, poi, vi è stata la legittima preoccupazione delle giovani generazioni di vedere limitato l’accesso all’istruzione universitaria e, allo stesso tempo, di vedersi negare la possibilità di affermare il proprio talento continuando a fare ricerca nel nostro Paese. Come era accaduto poche volte in passato, la mobilitazione ha compattato l’intero universo della ricerca, dai professori ordinari ai giovani dottorandi e assegnisti, uniti nel tentativo di salvare e migliorare un sistema che, nonostante tutto, ha dimostrato di saper produrre idee e progetti innovativi.

Nel suo piccolo, lo dimostra questo numero di *Athenet*, costruito intorno al contributo dei docenti e dei giovani ricercatori pisani al progetto LHC del CERN di Ginevra, il più importante esperimento scientifico di sempre sia per risorse investite e per studiosi coinvolti, sia per l’ambizione di riprodurre, attraverso un immenso acceleratore di particelle, le condizioni del Big Bang, e di tentare in questo modo di affrontare i quesiti ancora aperti sull’origine dell’universo. Lo dimostra anche l’interessante iniziativa di alcuni studenti e giovani ricercatori della facoltà di Ingegneria, che hanno deciso di mettere su un gruppo di lavoro per costruire una monoposto da corsa e sfidare squadre provenienti da altri atenei europei e non solo.

Un’ultima considerazione: di fronte alla mancanza di progettualità e di spinta verso il futuro che sembra essere una caratteristica dei nostri tempi, della politica e della società italiana di oggi, viene quasi spontaneo rivalutare e valorizzare un’esperienza politica illuminata quale quella dei Lorena, a cui è stata dedicata una bella mostra al Museo di Palazzo Reale.

**La Redazione**

# Al CERN si è aperta una nuova frontiera per la conoscenza dell'Universo

di Rino Castaldi

*Il 10 settembre 2008 al CERN di Ginevra, acronimo del francese Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, è entrato in funzione Large Hadron Collider (LHC), l'acceleratore di particelle più grande e più potente del mondo. LHC è stato costruito in un tunnel circolare di 27 Km di circonferenza, scavato cento metri sottoterra, sul confine tra la Svizzera e la Francia. Questo evento è stato seguito dalle televisioni e dai giornali di tutto il mondo, creando un evento mediatico che ha sollevato la curiosità e lo stupore di milioni e milioni di persone.*

Quale direttore della Sezione di Pisa dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e con l'aiuto dell'Ufficio Stampa dell'Università di Pisa, ho organizzato lo stesso giorno una conferenza stampa al dipartimento di Fisica dell'Università, dove ha sede la Sezione INFN di Pisa, per presentare questo grande evento scientifico. Alla mia presentazione sulle caratteristiche di LHC e sull'importanza delle ricerche scientifiche che potranno essere fatte grazie a questo acceleratore, sono seguite delle presentazioni sui tre apparati sperimentali, alla cui realizzazione i fisici di Pisa hanno dato importanti contributi e che saranno l'oggetto di tre articoli separati in questo stesso numero di Athenet. Per rendere più significativa

la Conferenza Stampa abbiamo seguito in collegamento diretto col CERN di Ginevra l'accensione dell'acceleratore illustrando agli intervenuti ciò che stava avvenendo. È stata questa anche l'occasione per spiegare ai giornalisti presenti quali siano le principali risposte scientifiche che i fisici si aspettano dai complessi esperimenti che verranno realizzati con questa poderosa e complessa macchina acceleratrice.

In figura 1 la circonferenza del tunnel sotterraneo di LHC è tratteggiata su una veduta aerea della zona dove sono ben visibili a destra l'aeroporto di Ginevra e il lago Lemano e a sinistra le propaggini dei monti del Giura.

Nel tunnel di LHC due intensi fasci di particelle subatomiche vengono ac-

celerati fino a raggiungere velocità di pochissimo inferiori alla velocità della luce, guidati su ben definite orbite da intensi campi magnetici generati dalle migliaia di grandi magneti superconduttori che costituiscono l'acceleratore. Le particelle dei due fasci, una volta raggiunta l'energia massima dell'acceleratore, vengono fatte scontrare tra loro riportando i quark di cui sono costituite nelle stesse condizioni di temperatura e di densità in cui si erano trovati pochi milionesimi di miliardesimi di secondo dopo che il Big Bang dette origine al nostro Universo quattordici miliardi di anni fa.

Per mantenere stabilmente i fasci di particelle sulle orbite circolari dell'acceleratore sono necessari ben 1232 dipoli magnetici superconduttori di 15 metri di lunghezza disposti lungo tutta la circonferenza della macchina. Uno scorcio del tunnel dell'acceleratore con alcuni di questi dipoli è mostrato in figura 2. Ciascun dipolo è in grado di generare su tutta la sua lunghezza un campo magnetico di 8 tesla, un campo cioè che è ben duecentomila volte più intenso del campo magnetico terrestre.

Altri 392 quadrupoli magnetici superconduttori sono necessari per mantenere i fasci ben focalizzati lungo tutta la traiettoria delle particelle, mentre molti altri magneti di tipo sestupolo, ottupolo, decapolo etc. per un totale di circa 9600 magneti disposti lungo l'anello sono necessari per far funzionare correttamente l'acceleratore.

La realizzazione di una macchina così complessa ha richiesto lo sviluppo di

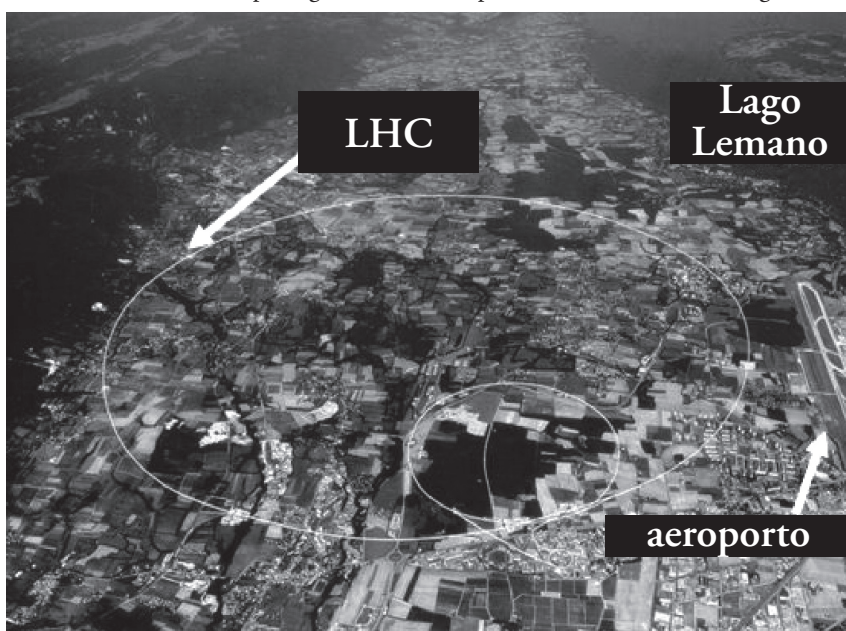


Figura 1 - Veduta aerea della zona dove si trova LHC.



Figura 2. Tunnel di LHC con un "dipolo superconduttore" in primo piano.

tecnologie raffinatissime e la necessità di utilizzare strumenti di analisi e sistemi di controllo altamente sofisticati. Per ottenere le prestazioni necessarie i magneti superconduttori devono lavorare alla temperatura dell'elio superfluido cioè ad una temperatura di 1,9 gradi Kelvin (circa -271 gradi centigradi) che è molto vicina allo zero assoluto. Questi magneti risultano pertanto essere gli oggetti più freddi di tutto l'Universo trovandosi ad una temperatura più bassa di quasi un grado rispetto a quella che si trova negli spazi vuoti extragalattici. Inoltre a LHC i quark delle particelle, quando queste sono accelerate alla massima energia, si scontrano a temperature equivalenti a miliardi di volte le temperature che ci sono sul Sole. Pertanto, meraviglia della tecnologia, all'interno dell'acceleratore vengono create, contemporaneamente e a piccolissime distanze le une dalle altre, le temperature più fredde e quelle più calde di tutto l'Universo.

È proprio in questi scontri tra particelle di energia altissima, ben diecimila miliardi di volte superiore all'energia dei fotoni emessi da una lampadina, che si cercano delle risposte alle molte domande che ancora oggi i fisici subnucleari si pongono sulla natura del nostro Universo.

Due apparati sperimentali di enormi dimensioni (CMS e ATLAS), insieme a due apparati di dimensioni intermedie (ALICE e LHCb) e ad altri due di dimensioni più piccole, ma non per questo meno importanti (TOTEM e LHCf), frutto del lavoro di più di quindici anni da parte di migliaia di fisici e

ingegneri provenienti da ogni parte del mondo, registreranno gli eventi che avverranno in questi scontri ad altissima energia tra i costituenti ultimi della materia come fossero delle enormi e sofisticate macchine fotografiche.

In ciascuno di questi scontri vengono prodotte alcune centinaia di particelle elementari di varia natura. Quando l'acceleratore funzionerà al massimo delle sue potenzialità, di questi scontri ne avverranno ben 100 milioni al secondo producendo quindi decine di miliardi di particelle ogni secondo. Gli apparati sperimentali devono essere in grado di riconoscere ogni tipo di tutte queste particelle prodotte e misurarne con grande precisione l'energia e l'impulso con cui emergono dall'interazione per poter capire la natura di tutti quegli eventi che mostrino delle caratteristiche fisiche interessanti. Per riuscire in questa non semplice operazione sono necessari degli apparati sperimentali molto complessi costituiti da vari sotto-rivelatori ciascuno specializzato per identificare e misurare i diversi tipi di particelle.

Questi giganteschi apparati, alti quanto un palazzo di cinque piani e pesanti anche più di 12000 tonnellate, hanno una struttura a strati con i sotto-rivelatori uno all'interno dell'altro, come in una *matrioska* e sono posizionati dove le particelle dei fasci di LHC si scontrano, cioè nei punti da dove emergono le particelle prodotte in questi scontri.

In figura 3 è raffigurato come vengono

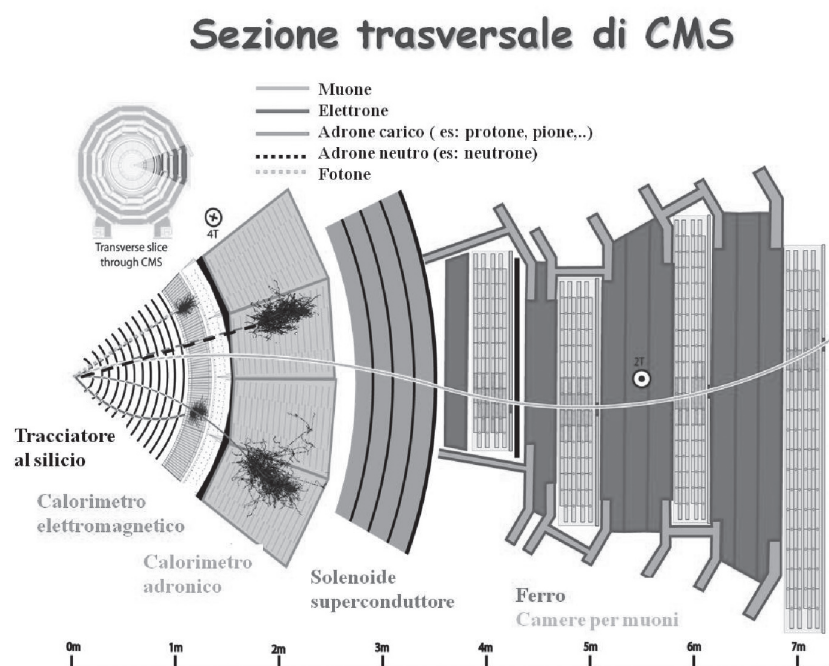
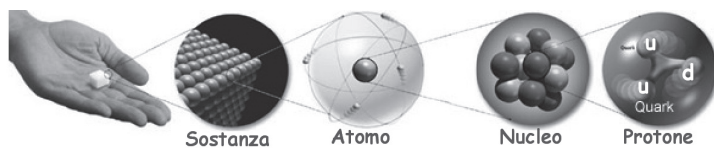


Figura 3. Metodo di rivelazione dei vari tipi di particelle.



## Il Modello Standard



Figura 4. Rappresentazione pittorica del Modello Standard.

rivelati i vari tipi di particelle in un settore di una sezione trasversale di CMS. Una figura del tutto analoga si otterrebbe con un equivalente settore di ATLAS dato che i due apparati ricostruiscono con risoluzioni simili, anche se con tecnologie diverse, gli eventi di LHC.

Il primo rivelatore che le particelle prodotte incontrano emergendo dal punto di interazione è il cosiddetto "tracciatore" capace di ricostruire le traiettorie di tutte le particelle cariche prodotte nell'evento. Nello strato successivo si trova il "calorimetro elettromagnetico" necessario per la misura dell'energia degli elettroni e dei fotoni. Ancora dopo viene il "calorimetro adronico" capace di misurare l'energia dei cosiddetti "adroni" quali per esempio i protoni, i neutroni, i pioni e altri tipi di particelle che interagiscono nel calorimetro in modo simile a questi. La parte più esterna dell'apparato sperimentale è riservata al "rivelatore per muoni", particelle simili agli elettroni ma che, avendo una massa molto più alta, sono capaci di penetrare tutto il denso materiale dell'apparato. Il tracciatore, ma talvolta come nel caso di CMS anche i calorimetri, è immerso in un forte campo magnetico che permette di misurare l'impulso delle particelle cariche misurandone con precisione le relative traiettorie.

Più di cento tra fisici, ingegneri e tecnici della Sezione INFN di Pisa e dell'Università di Pisa in collaborazione con la Scuola Normale Superiore di Pisa e l'Università di Siena hanno dato dei contributi molto importanti e signifi-

ficativi a ben tre di questi sei apparati sperimentali. Il gruppo pisano di CMS con più di sessanta tra fisici, ingegneri e tecnici è stato protagonista del progetto, della costruzione e della messa in funzione del rivelatore di tracce di CMS. Questo rivelatore, che è un po' il cuore di tutto l'esperimento e di cui ho avuto l'onore e il piacere di essere stato responsabile internazionale per molti anni, è costituito da più di dieci milioni di elementi di silicio e ricostruirà con precisione micrometrica le traiettorie di tutte le tracce cariche prodotte nelle collisioni, misurandone l'impulso e il vertice da cui provengono. Un altro gruppo pisano, più piccolo ma non meno agguerrito, è stato protagonista nella progettazione e nella realizzazione del calorimetro adronico di ATLAS, l'altro grande apparato insieme a CMS che registrerà tutti gli eventi interessanti che verranno prodotti a LHC. Il calorimetro adronico è una delle parti più importanti di questi grandi apparati essendo fondamentale conoscere l'energia delle particelle adroniche che vengono prodotte in queste collisioni. Il terzo gruppo pisano, in collaborazione con fisici dell'Università di Siena, è stato protagonista nella realizzazione di TOTEM, uno degli esperimenti più piccoli ma fondamentali per poter misurare le dimensioni reali del protone e quindi la probabilità che esso ha di interagire con un altro protone a queste altissime energie.

Negli ultimi decenni i fisici subnucleari sono stati capaci di costruire una teoria,

il cosiddetto Modello Standard, che è in grado di descrivere con incredibile dettaglio tutte le proprietà delle particelle elementari di cui è costituita la materia. Nonostante questi incredibili successi della teoria restano ancora aperti alcuni cruciali interrogativi che solo nuovi e più significativi dati sperimentali, accessibili solo alle energie di LHC, potranno chiarire.

Una delle questioni più dibattute è quale sia l'origine della massa delle particelle elementari e perché alcune abbiano masse molto grosse, altre invece siano leggerissime e altre ancora siano addirittura prive di massa. Non esiste a tutt'oggi una risposta certa a questa domanda fondamentale anche se in realtà esiste un'ipotesi molto convincente, proposta dal fisico Peter Higgs, secondo la quale le particelle elementari avrebbero masse così diverse solo perché così diverse sono le loro interazioni con un campo di forza, appunto il campo di Higgs, di cui è permeato tutto lo spazio fisico. Se questa ipotesi risultasse verificata dai dati di LHC e si identificasse la particella responsabile di questo campo, il cosiddetto bosone di Higgs, si completerebbe finalmente la teoria del modello standard.

In figura 4 viene rappresentata pittoricamente l'essenza del Modello Standard con le tre generazioni dei fermioni (i quark e i leptoni) raffigurati come i mattoni fondamentali che costituiscono la materia e che interagiscono tra di loro con delle forze mediate dai rispettivi bosoni di scambio. La figura è completata con un punto interrogativo sul bosone di Higgs perché non siamo certi della sua esistenza ma che, se esistesse, potrebbe spiegare la grande diversità tra le masse che i quark, i leptoni e le particelle mediatrici delle forze hanno tra di loro.

Nell'Universo, così come ci appare, esistono altri fatti sconcertanti e assolutamente misteriosi a cui la fisica moderna non sa dare una risposta. Sappiamo dalle più recenti osservazioni di astrofisica che tutte le cose che vediamo, dal granello di sabbia più insignificante fino all'immensità delle galassie più lontane, costituiscono meno del 5% dell'energia di cui il nostro Universo è formato. Questo fatto è mostrato pittoricamente in figura 5 dettagliando le percentuali delle varie forme di materia esistenti nell'Universo. In particolare i dati astrofisici in nostro possesso ci di-

## Di cosa e' fatto il nostro Universo

(stelle e pianeti sono solo una piccola parte !)

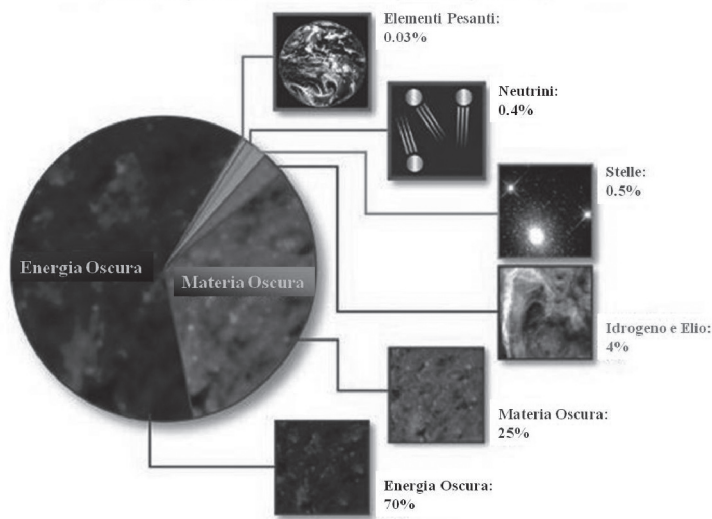


Figura 5. Percentuali delle varie forme di energia che compongono l'Universo.

cono che tutte le galassie che vediamo sono immerse in una specie di materia misteriosa, la cosiddetta materia oscura, che nonostante sia cinque volte più abbondante della materia ordinaria, finora non siamo riusciti a capire in cosa consista.

A LHC anche questo mistero potrebbe essere finalmente svelato. Esistono infatti teorie abbastanza convincenti che prevedono l'esistenza nel nostro mondo di particelle molto pesanti, chiamate nel gergo dei fisici particelle supersimmetriche.

Queste particelle sarebbero altrettanto numerose e di tipo speculare alle particelle elementari che costituiscono la materia visibile (si veda la figura 6) ma, interagendo con essa molto debolmente e avendo delle masse molto più

alte, non sarebbero mai state osservate in esperimenti precedenti perché non esisteva l'energia sufficiente per poterle creare.

A LHC invece ci dovrebbe essere l'energia necessaria per produrle in abbondanza e quindi poterne capire finalmente la natura.

Molte altre sono le domande a cui LHC potrebbe dare risposta.

Noi viviamo in un mondo fatto di sola materia, ma al momento del Big Bang materia e antimateria dovevano essere presenti in ugual misura; e allora, che fine ha fatto tutta l'antimateria?

Noi crediamo che i mattoncini ultimi e indivisibili con cui è costruito il mondo siano i leptoni e i quark; ma se avessero essi stessi una struttura interna? Pensiamo che anche questa struttura potrebbe rivelarsi alle energie di LHC.

E ancora: Einstein ha mostrato che le tre dimensioni dello spazio sono intimamente connesse col tempo e che quindi la natura evolve in un mondo quadridimensionale di spazio-tempo. Sono state proposte interessanti teorie che potrebbero gettare luce sulla incompatibilità tra la forza di gravità e le teorie quantistiche e che ipotizzano l'esistenza in natura di altre dimensioni spaziali oltre alle tre percepibili dalla nostra esperienza quotidiana. I segni di queste extra-dimensioni, se esistessero, potrebbero essere visibili alle altissime energie di LHC.

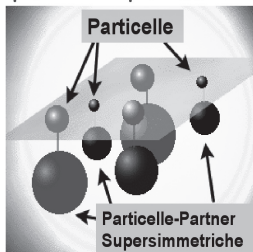
Negli ultimi anni sono emerse da parte di taluni delle infondate preoccupazioni su un eventuale pericolo di distruzione del nostro pianeta a causa di ciò che po-

trebbe essere creato in queste collisioni tra particelle di energia così estrema. Per rispondere a queste ingiustificate paure la comunità scientifica internazionale ha incaricato a più riprese dei comitati di scienziati per dimostrare indipendentemente e in modo inequivocabile l'inconsistenza di queste preoccupazioni.

È vero che con LHC si possono ottenere collisioni ad energie mai ottenute prima da nessun altro acceleratore di particelle, ma è anche vero che nell'Universo i raggi cosmici producono molte collisioni tra particelle ad energie ancora più elevate di quelle ottenibili con LHC. I raggi cosmici sono particelle prodotte da fenomeni cosmici di varia natura, alcuni dei quali vengono accelerati fino a raggiungere delle energie enormemente superiori a quelle di LHC. Le energie e le frequenze con cui questi raggi cosmici colpiscono l'atmosfera terrestre (si veda la figura 7) sono state misurate in grande dettaglio negli ultimi settanta anni da molti esperimenti indipendenti. È facile quindi calcolare, partendo da queste due grandezze che sono state ben misurate, quante collisioni ad energie superiori a quelle di LHC sono avvenute sulla Terra negli ultimi quattro miliardi di anni della sua esistenza; il risultato è che sono un numero cento mila volte maggiore delle collisioni che verranno prodotte a LHC durante tutto il periodo in cui l'acceleratore è previsto funzionare! E la Terra, fortunatamente, esiste ancora! Il Sole ha una superficie diecimila volte più grande della Terra per cui, sul Sole, la Natura ha già fatto un miliardo di esperimenti equivalenti a quelli che faremo a LHC; e il Sole continua ad esistere! Se poi si volge lo sguardo al numero di stelle nella nostra galassia e al numero di galassie che esistono nell'Universo e si considera che anch'esse, analogamente alla Terra, sono giornalmente bombardate da raggi cosmici di queste energie, i numeri diventano veramente astronomici. La Natura esegue ogni secondo ben trentamila miliardi di esperimenti LHC equivalenti e durante la vita dell'Universo ne ha addirittura già completati un numero maggiore di 1031 cioè di diecimila miliardi di miliardi di miliardi; e i pianeti, le stelle e le galassie continuano ad esistere!

Queste sono le ovvie conclusioni a cui sono giunti entrambi questi comitati formati da scienziati di indiscussa fama internazionale. La paura che a LHC possa venir creato un piccolo ma vorace

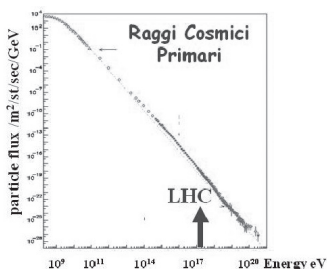
### La Materia Oscura e' dovuta all'esistenza di particelle supersimmetriche?



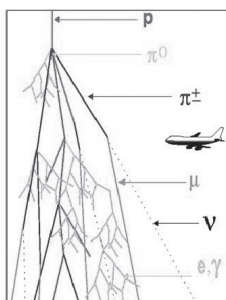
Particella	Spin	Partner supersimmetrico	Spin
quark, q	1/2	squark, $\tilde{q}$	0
leptone, l	1/2	sleptone, $\tilde{l}$	0
fotone, $\gamma$	1	stopino, $\tilde{\gamma}$	1/2
bosone, W	1	wino, $\tilde{W}$	1/2
bosone, Z	1	zino, $\tilde{Z}$	1/2
Higgs, H	0	higgsino, $\tilde{H}$	1/2
gluone, g	1	gluino, $\tilde{g}$	1/2

Figura 6. La "Supersimmetria" prevede per ogni particella elementare l'esistenza di una particella-partner supersimmetrica.

# Raggi Cosmici



Raggi cosmici primari:  
 p 80 %,  $\alpha$  9 %, n 8 %  
 e 2 %, heavy nuclei 1 %  
 $\gamma$  0.1 %,  $\nu$  0.1 %



Raggi cosmici secondari  
 sulla superficie della Terra:  
 $\nu$  68 % ;  $\mu$  30 %  
 p, n, ... 2 %

Figura 7. Composizione dei raggi cosmici che colpiscono l'atmosfera terrestre.

buco nero in cui la Terra venga inesorabilmente inghiottita è totalmente priva di senso!

Non sappiamo quale nuova fisica troveremo a LHC, ma siamo certi che non produrremo eventi che siano in qualche modo pericolosi né per noi né tantomeno per la Terra. Crediamo invece che riproducendo nel laboratorio di LHC quegli eventi che avvenivano quattordici miliardi di anni fa nell'Universo appena nato apriremo un nuovo e affascinante orizzonte ad una nostra sempre più profonda conoscenza della natura.

Nei giorni immediatamente successivi all'entrata in funzione di LHC, i tecnici e gli ingegneri di macchina del CERN sono riusciti a far circolare i due fasci contemporaneamente in direzione opposta nelle orbite dell'anello e sono stati in grado di eseguire svariate prove di accelerazione. Nella figura 8 su uno schermo fluorescente si vedono le immagini del fascio circolante in LHC a riprova del buon funzionamento dell'acceleratore. Purtroppo poco più di una settimana dopo, il 19 settembre 2008, durante una prova di accensione dei magneti con alta corrente, a causa di una connessione elettrica difettosa tra due magneti, si è verificata la rottura del criostato di un dipolo con conseguente fuoriuscita di elio superfluido che, a contatto con la temperatura ambiente del tunnel, ha generato una sorta di esplosione che ha danneggiato un certo numero di altri magneti limitrofi. Questo incidente implica che la macchina dovrà restare ferma per svariati mesi sia per ripara-

re i gravi danni causati dall'esplosione sia per controllare tutte le componenti dell'acceleratore ad evitare che un simile evento distruttivo possa verificarsi ancora. Comunque, anche se LHC non entrerà di nuovo in funzione prima della primavera prossima, i fisici nel frattempo potranno continuare a calibrare i loro rivelatori analizzando i dati che possono essere ottenuti grazie ai raggi cosmici (prevalentemente muoni di alta energia) che attraversano continuamente i loro apparati. Così, quando l'acceleratore tornerà finalmente a funzionare di nuovo, i ricercatori con il lavoro fatto nei prossimi mesi con i dati di raggi cosmici potranno aver misurato meglio le risoluzioni e le effettive potenzialità

dei loro rivelatori e potranno più rapidamente iniziare la sperimentazione sui tanto attesi eventi di LHC. Nonostante questo spiacevole incidente del 19 settembre, la comunità dei fisici di LHC è fiduciosa di poter presto raccogliere i frutti di tanti anni di lavoro e di poter finalmente misurare e capire con i propri apparati quei fenomeni che la natura ha tenuto finora gelosamente nascosti perché essi si potranno manifestare solo alle altissime energie di LHC.

**Rino Castaldi**

direttore della Sezione di Pisa dell'INFN  
 rino.castaldi@pi.infn.it

## Per saperne di più

Informazioni di carattere divulgativo sulla fisica delle particelle sono disponibili sui seguenti siti:

- <http://www.cern.ch>
- <http://www.particleadventure.org/>

Informazioni generali sugli esperimenti e sul Large Hadron Collider si trovano su:

- <http://www.cern.ch>
- <http://www.atlas.ch/>
- <http://cms.cern.ch>
- <http://cern.ch/totem>

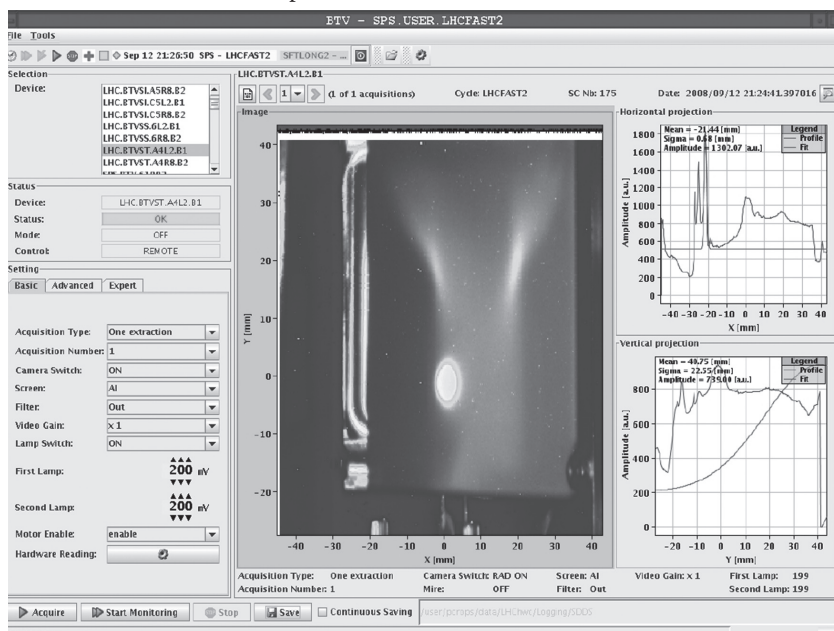


Figura 8. Immagine del fascio circolante in LHC.



# L'esperienza CMS

di Alberto Messineo

*L'inizio dell'attività di LHC ci vede protagonisti nella grande corsa verso la conoscenza come fisici del nostro Ateneo che hanno partecipato in prima persona a questo grande progetto. Nell'ultimo decennio ho svolto la mia attività di ricerca in collaborazione con il gruppo di fisici dell'Università di Pisa, della Scuola Normale Superiore e dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) che ha collaborato ad uno di questi esperimenti, chiamato CMS, acronimo di Compact Muon Solenoid. L'esperimento CMS è supportato da una grande collaborazione scientifica internazionale. Ne fanno parte in totale 175 laboratori di ricerca e circa 2400 fisici. La parte italiana della collaborazione raggruppa le università e sezioni INFN di Bari, Bologna, Catania, Firenze, Frascati, Genova, Legnano, Milano, Napoli, Padova, Pavia, Perugia, Pisa, Roma, Torino e Trieste. Una comunità di istituti che consiste in circa 230 fisici, 71 ingegneri, 95 tecnici più un centinaio di studenti. La partecipazione italiana è di eccellenza ed è numericamente molto consistente, al pari di quella di altre grandi nazioni.*

Il rivelatore di particelle che costituisce l'apparato sperimentale di CMS è enorme: alto come un palazzo di cinque piani e pesante quanto un incrociatore, circa 12.500 tonnellate. È uno dei più complessi strumenti scientifici finora concepiti installato in una caverna grande quanto una cattedrale, 100 metri sotto terra alle pendici delle montagne del Giura in territorio francese.

La struttura è imponente e robusta: tonnellate di acciaio, equipaggiate con i rivelatori più veloci e sofisticati oggi concepibili, intorno al magnete superconduttore più potente del mondo che produce un campo magnetico pari a circa 100.000 volte il campo magnetico terrestre. Al suo interno apparati di rivelazione molto precisi, di altissima tecnologia.

Nonostante la sua mole il rivelatore è estremamente delicato: il suo assemblaggio per componenti in superficie ed il successivo trasferimento in caverna ha richiesto un anno e mezzo di lavoro tra le più meticolose precauzioni, con un'opera di ingegneria di alto livello.

L'apparato sperimentale CMS ha una struttura cilindrica, lunga circa 22 metri e con un diametro di 15 metri, progettato in modo da racchiudere ermeticamente al centro la zona in cui avverranno le collisioni protone-protone dei fasci di LHC. CMS è costruito a strati ciascuno dei quali è specializzato per un particolare compito ed ottimizzato per rivelare gruppi specifici di particelle.

Uno spaccato di CMS è rappresentato nella figura 1: procedendo dagli strati più esterni verso il centro geometrico troviamo una serie di rivelatori che brevemente descrivo qui di seguito.

- Le camere per la rivelazione dei muoni. Questi rivelatori sono preposti alla ricostruzione della traiettoria di volo delle particelle che, generate nel punto di collisione, riescono ad attraversare tutto il materiale rappresentato dall'apparato CMS. Principalmente si tratta di muoni, particelle comunemente presenti nei raggi cosmici che raggiungono la superficie terrestre. Queste camere, in totale 1400 rivelatori posizionati in quattro strati all'interno del-

la struttura portante dell'intero apparato, ricostruiscono in maniera molto accurata la traiettoria ed inoltre generano un segnale veloce capace di avvisare in tempo reale, circa ogni milionesimo di secondo, dell'avvenuto passaggio di almeno una di queste particelle penetranti.

- Il solenoide superconduttore. Un grande magnete fatto da spire mantenute a temperatura bassissima, 268,5° C sotto lo zero. Tutto l'apparato CMS è costruito "attorno" a questo solenoide, capace di generare un campo magnetico uniforme di 4 Tesla all'interno di un grande volume cilindrico di diametro di 7 metri e lunghezza pari a 13 metri. In presenza di questo inten-

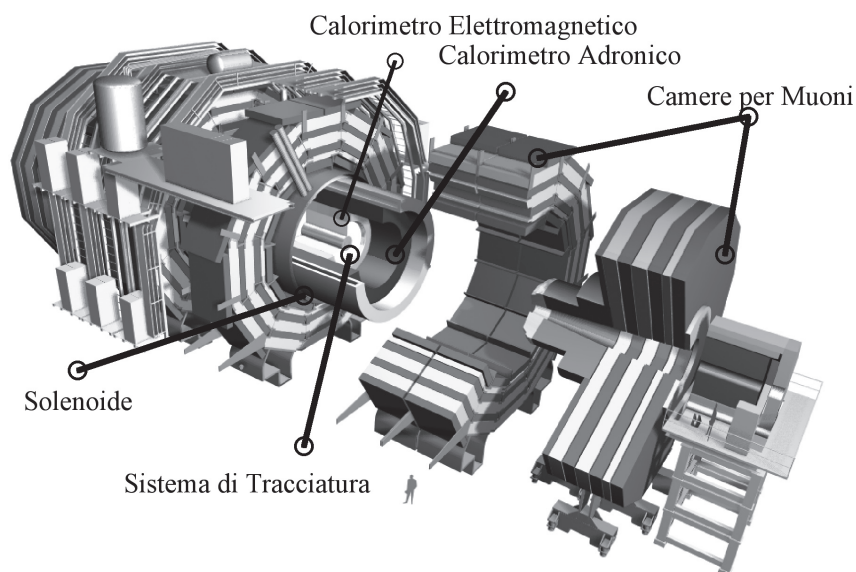


Figura 1. L'apparato sperimentale CMS. Sono indicati i rivelatori principali che lo compongono.

so campo magnetico le particelle cariche, prodotte nella collisione dei fasci, seguono traiettorie curve e questo permette di misurarne le proprietà cinematiche.

- Il calorimetro adronico. Questo rivelatore è preposto a misurare l'energia di tutte le particelle adroniche, simili ai comuni protone e neutrone, che in media terminano la loro corsa all'interno del suo volume. Il principio di funzionamento è simile a quello del calorimetro adronico di ATLAS descritto in dettaglio in questo stesso numero di Athenet. È suddiviso in 72 spicchi, ciascuno del peso di circa 2 tonnellate, in cui il materiale sensibile scintillatore, che produce il segnale che misura l'energia depositata, è intervallato ad assorbitore in rame. Questo materiale, che ha una elevata densità, ha permesso di costruire un calorimetro adronico compatto e capace di operare in campo magnetico. Parte del rame è stato ricavato dalla fusione di materiale bellico della II guerra mondiale dismesso dalla Marina Militare in Russia.

- Il calorimetro elettromagnetico. Questo rivelatore è molto sofisticato perché costruito da circa 80000 cristalli di tungstano di piombo, materiale che possiede ottime proprietà scintillanti ed è trasparente alla luce. Ciascun cristallo ha un peso di circa 1,5 Kg, concentrato in un volume pari a quello di una tazza di caffè. Con questi rivelatori, ciascuno geometricamente simile ad un tronco di piramide che punta verso la regione di collisione, si misura la componente elettromagnetica dell'energia, cioè trasportata da particelle come l'elettrone o il fotone, con estrema precisione e rapidità di risposta.

- Il sistema di tracciatura. La parte più interna di CMS è il cuore dell'intero esperimento. Consiste in un grande cilindro

di circa 2,6 metri di diametro e 5 metri di lunghezza, equipaggiato con rivelatori a micro strisce. Al suo interno si trova un piccolissimo cilindro, lungo circa un metro e di soli 30 centimetri di diametro, posizionato a pochi centimetri dalla zona di collisione ed equipaggiato con rivelatori a pixel.

Il cuore di questo esperimento è una creatura tutta italiana. In Italia abbiamo progettato e costruito il sistema di tracciatura a micro strisce. È un cuore fragilissimo perché fatto di cristalli di silicio montati su sottili supporti in fibra di carbonio. I cristalli sono ricavati su piastrine "rese intelligenti", di spessore inferiore al millimetro, simili a quelle che vengono usate per i chip di memoria, ma estremamente più sofisticate. L'insieme di 25000 di questi cristalli che ricoprono una superficie di circa 200 m<sup>2</sup> e che forniscono 10 milioni di elementi sensibili, rappresenta oggi il rivelatore di tracce più sofisticato mai costruito.

Si potranno così "fotografare ad altissima risoluzione" le collisioni prodotte da LHC, e di queste immagini ne verranno raccolte 40 milioni ogni secondo.

Un esempio di questi cristalli, di forma rettangolare e simile ad un piccolo specchio, è mostrato in figura 2. Il cristallo è equipaggiato con l'elettronica di lettura ed i cavi di connessione elettrica e di segnale verso l'esterno. Su ciascun cristallo sono impiantate circa un migliaio di micro strisce ricoperte di uno strato metallico, questo giustifica ad una prima vista la somiglianza ad una superficie riflettente. Le micro strisce, immaginabili come nastri di spessore pari a circa un micro metro (un milionesimo di metro) e larghi circa 20 micro metri, sono gli elettrodi con i quali raccogliamo il segnale creato dal passaggio

di una particella carica.

Questi cristalli sono capaci di localizzare il punto di attraversamento di una particella carica con una precisione incredibile, pari a circa 20 micro metri, corrispondente ad una frazione dello spessore di un capello umano.

La parte più interna del sistema di tracciatura, costruita da colleghi in Svizzera e in America, anche se molto piccola è equipaggiata da rivelatori molto sofisticati. Sessanta milioni di canali di pixel di silicio, simili ai dispositivi delle odierne macchine fotografiche digitali ma che racchiudono una tecnologia ben più sofisticata, ricoprono una superficie di circa 1 metro quadro. Con questo enorme numero di canali si riesce a distinguere e ricostruire il passaggio delle particelle cariche in una regione in cui la densità spaziale di tracce è molto elevata, in quanto ci troviamo molto vicini al punto di collisione dei fasci di LHC.

L'intero sistema di tracciatura ricostruisce per ciascuna particella carica la sua traiettoria di volo e ne misura l'impulso, legato alla sua velocità, utilizzando in media 12 punti misurati dai cristalli di silicio con estrema precisione.

Quando il rivelatore di tracce di CMS entrerà in funzione potremo osservare con chiarezza gli eventi prodotti, anche i più complicati. Avremo un'accuratezza impressionante come un microscopio puntato sul mondo estremamente piccolo, che ci permetterà di osservare le firme inconfondibili della nuova fisica nascoste tra i miliardi di eventi prodotti.

Siamo stati noi italiani ad avere proposto il rivelatore alla comunità scientifica di CMS quando tutto il mondo pensava che sarebbe stato impossibile costruire un sistema così sofisticato.

All'epoca un piccolo gruppo di fisici pisani, tra cui Guido Tonelli ed Alberto Messineo dell'Università, Rino Castaldi, Pier Giorgio Verdini e Roberto Dell'Orso dell'INFN, proposero di usare rivelatori a micro strisce al silicio per equipaggiare l'intero apparato di tracciatura di CMS.

All'inizio tutto il mondo scientifico guardava con scetticismo la nostra proposta; in seguito è stato entusiasmante vedere come ricercatori di tutto il mondo abbiano cominciato a lavorare in questa direzione. I problemi tecnici che negli anni si sono presentati per la realizzazione di questo apparato apparivano insormontabili. Fino ai primi anni Novanta si usavano rivelatori a semiconduttore per oggetti piccoli come una scatola, i rivelatori al silicio non resistevano alla radiazione e non si riuscivano

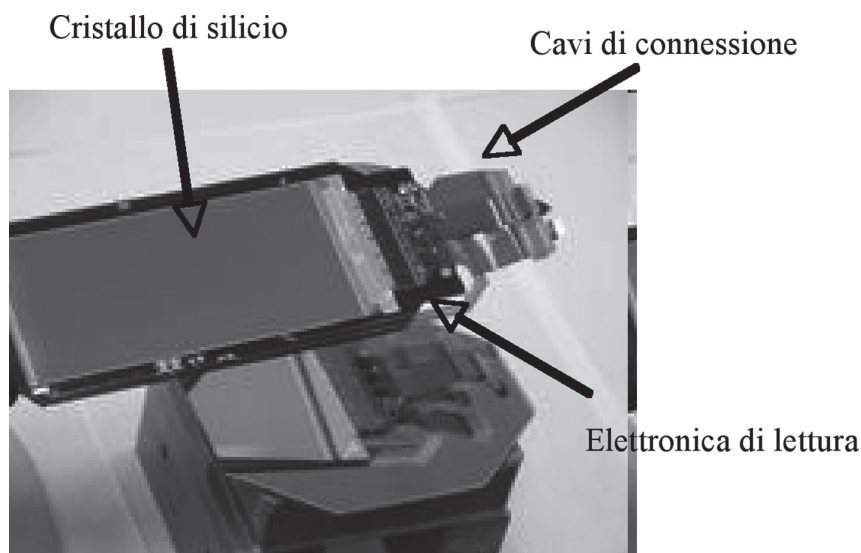


Figura 2: Cristallo a micro strisce di silicio del tracciatore di CMS.

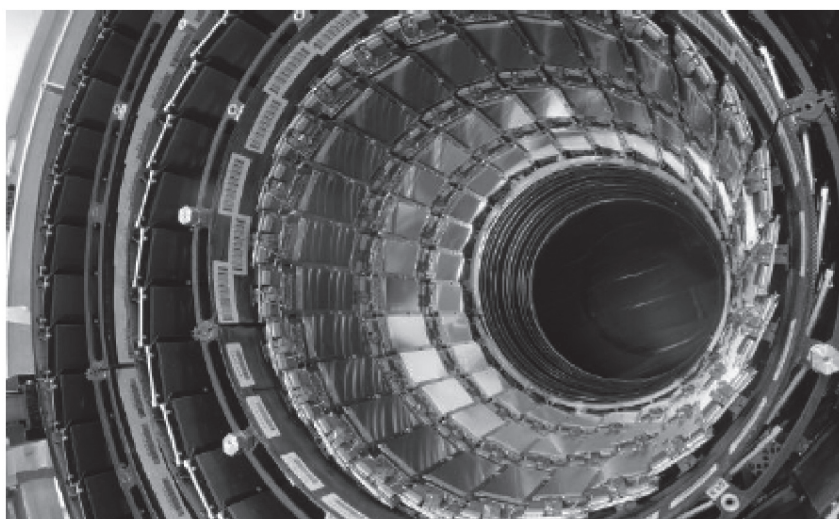


Figura 3. Tracciatore di CMS visto dal punto di collisione.

a produrre chip di lettura adeguati. Infine occorre individuare partner industriali capaci di produrre su vasta scala oggetti così sofisticati. Le condizioni sperimentali, inoltre, imponevano di mantenere l'intero volume occupato dal sistema di tracciatura ad una temperatura costante ed uniforme pari a  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Abbiamo fornito una soluzione affidabile a ciascuno di questi problemi con una intensa attività di ricerca e sviluppo protratta negli anni.

Nel nostro sforzo siamo stati supportati dall'INFN che ha guidato il lavoro di ricerca e sviluppo che ha permesso di progettare e costruire i primi prototipi e di lanciare poi la produzione su scala industriale di questo gioiello della tecnologia. Sono stati necessari 12 anni e il lavoro di centinaia di fisici ed ingegneri di tutto il mondo per trasformare il sogno in realtà.

La collaborazione dell'INFN in Italia è stata realizzata dalle sedi di Pisa, Firenze, Torino, Padova, Bari, Catania e Perugia, che hanno contribuito a realizzare l'apparato di tracciatura.

Circa dieci anni dopo tutto è pronto: nel

cuore del magnete superconduttore più potente al mondo, funziona oggi il primo tracciatore completamente di silicio, capace di ricostruire con precisione incredibile le tracce delle particelle cariche prodotte nelle collisioni, individuando anche l'esatta posizione in cui quelle instabili si disintegrano.

Nella figura 3 vedete come appare una metà del tracciatore fotografata dal punto di collisione. Sono visibili le migliaia di rivelatori di silicio, posizionati in maniera accurata e stabile su gusci cilindrici in fibra di carbonio, con una struttura leggerissima ma stabile e molto resistente. Si nota la successione dei diversi strati di cui è composto il tracciatore, distanziati di pochi centimetri l'uno dall'altro. È così come appare: un sistema fragilissimo, tecnicamente molto complicato ed altrettanto sofisticato.

Nel nostro Ateneo fisici, ingegneri, studenti, assegnisti e ricercatori, entusiasti e consapevoli di far parte di una grande impresa scientifica, hanno realizzato una cooperazione di saperi, professionalità e anche culture differenti. A Pisa negli anni

hanno lavorato al tracciatore di CMS circa 40 fisici, 11 ingegneri e 13 tecnici, oltre a molti studenti. Borsisti e colleghi ricercatori stranieri ci hanno supportato in questo progetto.

Con la guida di Rino Castaldi, dirigente di ricerca dell'INFN di Pisa e responsabile internazionale del sistema di tracciatura di CMS dal 1994 al 2000, e di Guido Tonelli, docente del dipartimento di Fisica, per molti anni responsabile della parte italiana della collaborazione CMS e dal 2006 vice-responsabile internazionale di CMS, abbiamo intrapreso questa avventura. Facciamo parte a pieno titolo della collaborazione CMS e molti dei ricercatori dell'Ateneo pisano ricoprono posizioni di coordinamento di gruppi di lavoro e di responsabilità all'interno di CMS.

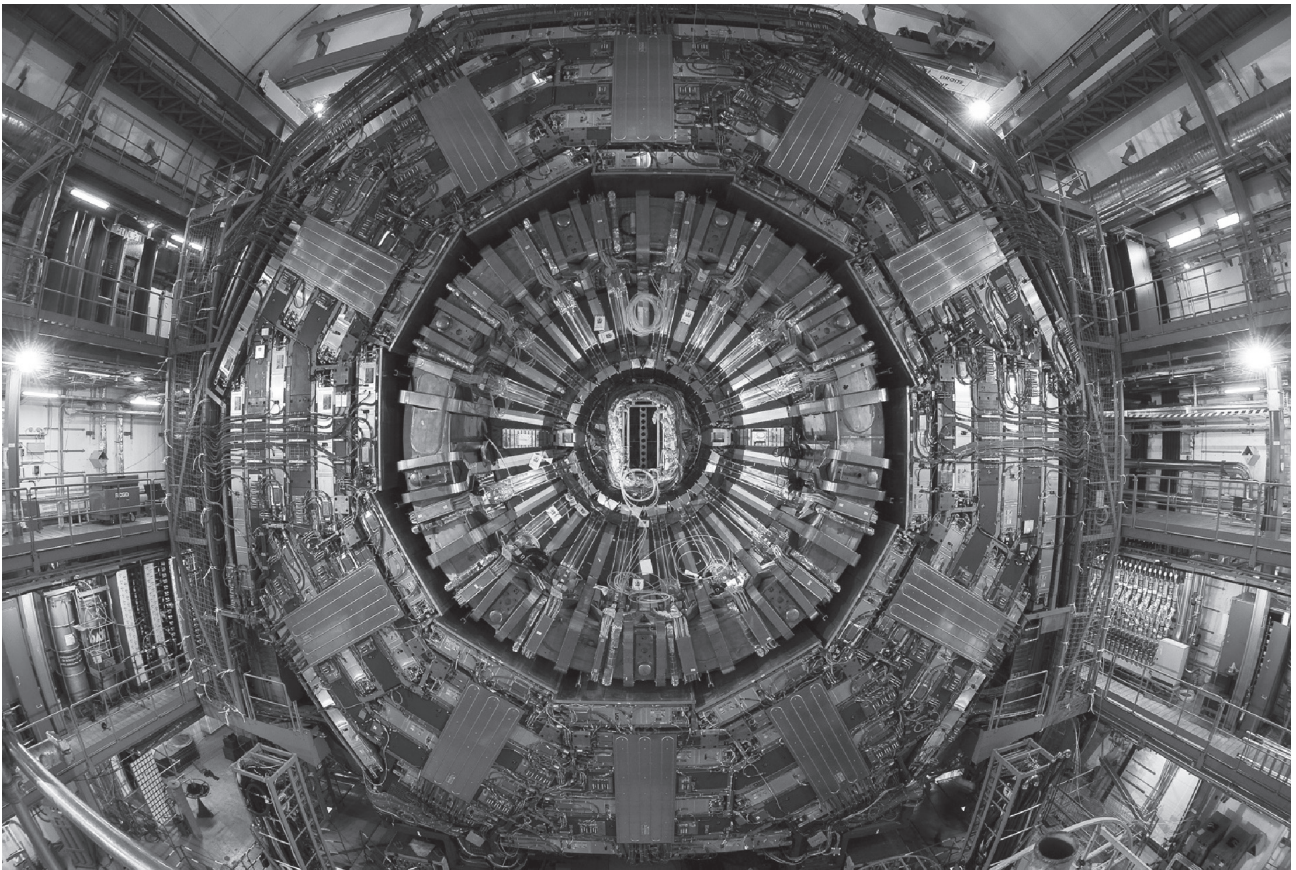
Alcuni dei componenti del team di ricercatori e tecnici che hanno contribuito alle attività del tracciatore sono mostrati in due scatti fotografici. La figura 4 rappresenta a sinistra un piccolo gruppo dei ricercatori coinvolti nella progettazione e realizzazione delle parti meccaniche, foto scattata presso i laboratori INFN di Pisa, e a destra uno dei team che ha contribuito alle ultime fasi di integrazione dell'apparato di tracciatura presso i laboratori del CERN.

Ecco come appare oggi CMS nella sua caverna, in figura 5, prima della chiusura completa. Sono visibili i diversi strati cilindrici dei vari rivelatori ricoperti dalle connessioni di servizio, funzionamento e comunicazione verso l'esterno. Le pareti della caverna che circondano il rivelatore sono equipaggiate, a diversi livelli, con i servizi di supporto necessari per il funzionamento dell'intero apparato sperimentale.

L'esperimento CMS, con tutti i suoi rivelatori qualificati e funzionanti, è già entrato in attività durante l'estate di quest'anno. In questo periodo, che precede l'inizio



Figura 4. Scatti fotografici di una piccola parte del team di fisici, ricercatori, ingegneri e tecnici che hanno contribuito alle attività per la realizzazione del tracciatore a micro strisce di CMS.



*Figura 5. L'apparato sperimentale di CMS nella vista ortogonale ai fasci di LHC, prima della completa chiusura.*

delle collisioni dei fasci di LHC, abbiamo avuto modo di mettere a punto l'intero apparato. Abbiamo provato le potenzialità dell'esperimento studiando le tracce di milioni di raggi cosmici che raggiungono quotidianamente la superficie terrestre.

In pieno regime di funzionamento CMS sarà gestito e tenuto sotto osservazione, monitorato 24 ore su 24, da 60 addetti in totale in tre sale di controllo: due sono allestite al CERN e una a Chicago, per sfruttare al meglio la differenza di fuso orario. L'Italia ha investito in CMS 40 milioni di Euro su 350 milioni di costo totale dell'esperimento e molte aziende italiane, partecipando a gare internazionali gestite dal CERN per i componenti di CMS, sono riuscite ad aggiudicarsi commesse per oltre 60 milioni di Euro, un saldo in attivo. Per il sistema universitario è sicuramente una grossa opportunità di misurarsi con i massimi livelli di eccellenza.

L'apparato CMS e in generale il progetto di LHC sono stati il banco di prova per la sperimentazione di tecnologie di punta che possiamo aspettarci troveranno in seguito applicazioni commerciali e nella produzione convenzionale.

Nel prossimo decennio saremo partecipi delle scoperte più importanti originate dallo studio dettagliato di tutte le informazioni che questo esperimento fornirà.

Complessi algoritmi informatici dovranno esaminare una grande mole di dati per riuscire a carpirne i dettagli più segreti che racchiudono. Ogni anno saranno accumulate informazioni pari a centinaia di migliaia di miliardi di byte: se dovessimo scrivere i dati raccolti in un anno di presa dati di CMS su dei comuni CD ne sarebbero necessari circa 45 milioni.

Questi dati saranno analizzati grazie alle strutture di calcolo oggi realizzate anche a Pisa e con una rete internazionale di calcolo che non ha uguali, detta GRID. Attraverso la tecnologia GRID è stata costruita una rete di sistemi di computer distribuiti, localizzati nei laboratori scientifici del mondo, che riescono a funzionare come un unico supercentro di calcolo virtuale.

Oggi a Pisa è funzionante un centro di calcolo che rappresenta uno dei nodi di GRID regionali. È uno dei più grandi creati in Italia, e attualmente ospita più di 1000 unità di calcolo e uno storage pari a 200 TB, equivalenti a 300.000 CD.

Ci si aspetta un grosso impatto anche dalla tecnologia GRID per applicazioni commerciali e industriali, una rivoluzione simile a quella prodotta da Internet, originariamente inventata al CERN per le esigenze dei fisici sperimentali.

La ricerca, la cultura e le nuove generazioni di fisici del nostro Ateneo si formeranno

avendo in mano uno strumento scientifico molto promettente.

Possiamo immaginare LHC come il più grande e potente microscopio della storia della scienza e CMS, come una delle sue lenti che ci permetterà di scrutare nella fisica delle piccole distanze e alle energie più elevate mai raggiunte. Sono allo studio dei ricercatori di CMS complessi e sofisticati metodi di analisi dei dati che l'apparato sperimentale ci fornirà, con lo scopo di puntare e focalizzare questo microscopio verso gli eventi più nascosti e più ricercati.

Le emozioni di nuove scoperte di segnali previsti o inaspettati saranno da adesso nelle mani e nell'estro geniale di giovani studenti, di fisici e ricercatori affermati del nostro Ateneo. Continuiamo così una tradizione che nel mondo ha avuto come seme iniziale l'attività universalmente riconosciuta di Enrico Fermi.

Ci troveremo nei prossimi anni in una condizione propizia per vivere una nuova era di scoperte importanti e per educare una nuova generazione di scienziati al piacere dello studio delle meraviglie del nostro universo.

**Alberto Messineo**  
ricercatore del dipartimento  
di Fisica "Enrico Fermi"

# L'esperimento ATLAS

di Chiara Roda

*Il 10 Settembre 2008 c'era una atmosfera di grande entusiasmo e tensione nella sala di controllo di ATLAS. Questo giorno segnava infatti una tappa molto importante: i fasci di protoni avrebbero percorso per la prima volta il perimetro dell'acceleratore LHC e ATLAS avrebbe dovuto dimostrare di essere pronto per registrare le immagini delle particelle che avrebbero attraversato il rivelatore. Dopo molti anni di costruzione, installazione e controlli di ogni tipo per verificare il corretto funzionamento dei milioni di canali di elettronica di ATLAS, in questo giorno tutti gli apparati avrebbero dovuto essere pronti per funzionare insieme e al momento giusto. Non si prevedeva di avere collisioni tra i fasci di protoni, tuttavia ci si aspettava che le collisioni del singolo fascio di protoni con un componente di cemento, detto beam-dump, avrebbero generato decine di particelle che avrebbero inondato il rivelatore percorrendolo da un lato all'altro.*



Figura 1. Sala di controllo di ATLAS il 10 Settembre 2008 durante la registrazione del primo evento.

Alle ore 10, 19 minuti e 20 secondi i grandi schermi presenti nella sala di controllo si sono illuminati mostrando il primo evento generato (figura 1) da protoni di LHC in ATLAS! È stato motivo di grande soddisfazione e orgoglio per tutta la comunità di ATLAS verificare che il nostro esperimento, dopo anni di preparazione, funzionava correttamente in tutte le sue componenti. La sala di controllo si trova un centinaio di metri sopra la caverna sotterranea che ospita il rivelatore ATLAS. Questa caverna artificiale di dimensione imponente, 53 metri di lunghezza, per 35 metri di altezza, per 30 metri di larghezza, è la più grande esistente al mondo. Due grossi tunnel verticali la collegano con la superficie e sono stati utilizzati per calare le varie componenti del rivelatore ed installarle all'interno della caverna.

ATLAS è stato progettato per misurare tutte le caratteristiche delle particelle prodotte nelle interazioni protone-protone in modo da coprire il più ampio programma di fisica possibile a LHC. ATLAS, nato inizialmente come acronimo di A Toroidal LHC Apparatus, viene ora utilizzato come nome vero e proprio sia del rivelatore che della collaborazione scientifica. Quest'ultima è una comunità mondiale che coinvolge circa 2.000 fisici e ingegneri che provengono da 35 nazioni. L'Italia partecipa ad ATLAS con circa 200 fisici, di cui una buona percentuale sono giovani studenti dei corsi di laurea e di dottorato. Il gruppo di ATLAS di Pisa, composto da circa 15 fisici, è una piccola comunità internazionale. Ad esempio in questo momento, oltre a ricercatori italiani, ospitiamo ricercatori dalla Francia, dagli Stati Uniti, dalla

Russia e da Cipro. L'opportunità di invitare ricercatori stranieri è resa possibile anche da un finanziamento ottenuto dalla comunità europea.

Il rivelatore ATLAS (figura 2) è costituito da un insieme di apparati coassiali, di forma cilindrica che, funzionando insieme, producono una specie di fotografia tridimensionale digitale dell'interazione protone-protone, da cui si può risalire alle caratteristiche delle centinaia di particelle prodotte.

L'analisi dei dati che compongono questa fotografia permette di ottenere le misure della traccia, dell'energia, dell'impulso e dell'identità di ogni particella. L'apparato di ATLAS che si trova più vicino al punto di collisione dei protoni, cioè subito fuori dal tubo che contiene il fascio, è detto tracciatore interno.

Questo rivelatore, immerso in un campo magnetico solenoidale 40.000 volte più intenso di quello terrestre, permette di fotografare la traiettoria delle particelle cariche, registrando il segnale da esse generato attraversando matrici o strisce di silicio. Le particelle cariche, deflesse dal campo magnetico, percorrono traiettorie curve. È proprio la misura di questa curvatura che permette di risalire all'impulso delle particelle stesse. Il tracciatore interno è lungo più di 7 metri e la sua distanza dal punto di interazione varia da 5 centimetri a oltre 1 metro. Questo apparato, che permette una misura delle traiettorie con una precisione di qualche milionesimo di metro, è composto da più di 80 milioni di canali di elettronica.

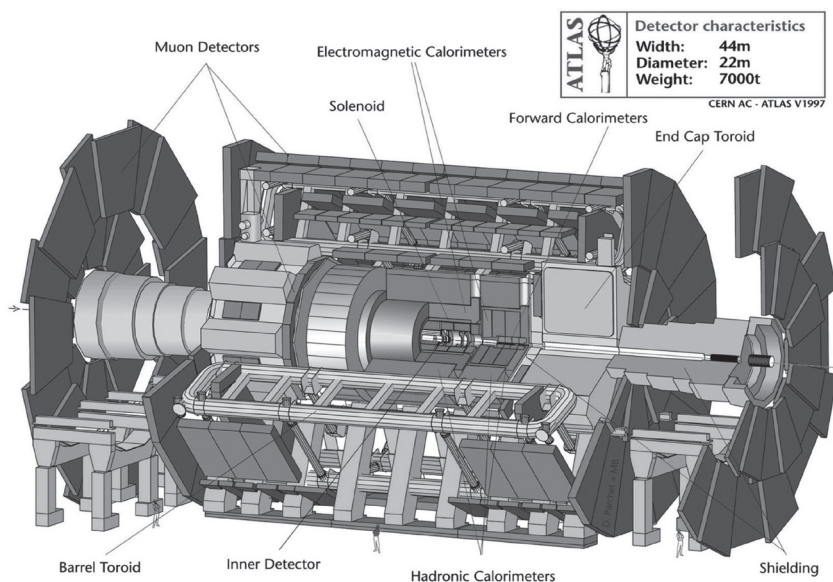


Figura 2. Schema del rivelatore ATLAS. In figura è mostrata la disposizione del tracciatore interno (Inner Detector), dei calorimetri elettromagnetico (Electromagnetic Calorimeter) ed adronico (Hadronic Calorimeter) e del rivelatore di Muoni (Muon Detectors).

Immediatamente all'esterno del tracciatore interno si trova il sistema calorimetrico (figura 2). Questo sistema permette di misurare l'energia di tutte le particelle cariche e neutre che sono assorbite completamente. Questo sistema è costituito da fogli di metallo, di differente materiale e forma, intervallati da materiali attivi, cioè materiali capaci di produrre un segnale al passaggio delle particelle. Le particelle che attraversano il sistema calorimetrico perdono la maggior parte dell'energia nei fogli di metallo e solo una piccola percentuale dell'energia è rilasciata nel materiale attivo dove produce un segnale. Il segnale così prodotto è proporzionale all'energia della particella incidente e quindi ne fornisce la misura. In questo modo si ha il doppio vantaggio di poter misurare anche particelle di alta energia con rivelatori piuttosto com-

patti. Il sistema calorimetro è costituito da due cilindri coassiali. Il cilindro più interno, detto calorimetro elettromagnetico (figura 2), permette di misurare l'energia di elettroni e fotoni. In questo rivelatore i fogli di metallo sono costituiti da piombo mentre il materiale sensibile è argon liquido alla temperatura di -183 gradi Celsius. Le particelle cariche attraversando l'argon liquido sono capaci di liberare elettroni da cui si genera un segnale elettrico che viene registrato. A un raggio di circa 2.5 metri dal punto di interazione si trova la componente adronica del calorimetro (figura 2), che permette la misura dell'energia di tutti gli adroni, cioè quelle particelle che interagiscono con processi nucleari, tra cui ad esempio protoni e neutroni. In questo apparato i fogli di metallo sono costituiti da ferro in cui sono inserite, come

dentro a delle tasche, delle mattonelle di un materiale scintillatore che produce luce al passaggio delle particelle. Circa 700.000 fibre ottiche raccolgono la luce prodotta nel calorimetro e la guidano a dei rivelatori, detti fotomoltiplicatori, che trasformano il segnale luminoso in segnale elettrico e lo amplificano (figura 3). Il nome di questo apparato, *Tile Calorimeter*, ovvero calorimetro a mattonelle, deriva proprio dalla sua particolare struttura.

L'apparato più esterno, il rivelatore dei muoni, è formato da migliaia di sensori di particelle cariche ed è immerso in un campo magnetico toroidale 100.000 volte più intenso di quello terrestre. Questo campo magnetico è generato da otto bobine a forma di grosse ciambelle oblunghe, che contengono circa 100 Km di filo superconduttore. Queste bobine, che costituiscono un sistema innovativo per generare uno dei più grossi volumi di intenso campo magnetico al mondo, sono state sviluppate da un gruppo di ricerca italiano e costruite presso l'Ansaldo. La scelta di avere all'interno del volume di ATLAS due campi magnetici distinti, uno per il tracciatore interno e uno per il rivelatore dei muoni, è una peculiarità che contraddistingue ATLAS e che ha poi condizionato molte altre scelte strutturali del rivelatore.

Il rivelatore dei muoni è disegnato per contenere tutto il resto del rivelatore circondando completamente il punto di collisione a una distanza da esso di più di dieci metri. In questo modo tutte le particelle generate nel punto di collisione, capaci di attraversare completamente il rivelatore senza essere assorbite, sono obbligate ad attraversare questo apparato. Ad oggi, conosciamo solo due tipi

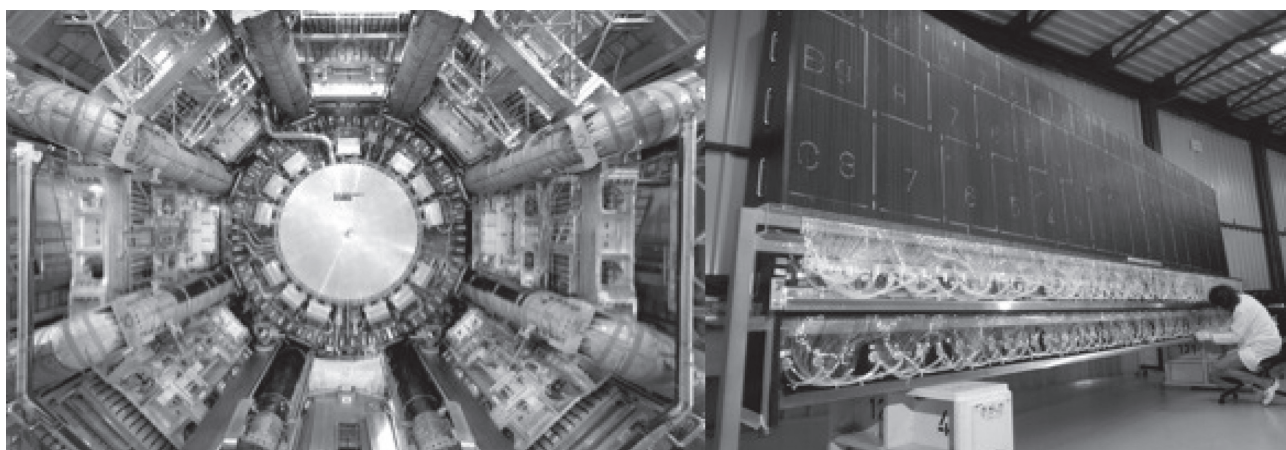


Figura 3. (Sinistra) Fotografia del rivelatore ATLAS installato nella caverna sperimentale. Sulla foto si possono vedere le bobine che generano il campo magnetico toroidale e al centro di essi la sezione del calorimetro adronico Tile. (Destra) Fotografia di uno dei moduli del calorimetro Tile mentre è equipaggiato con le fibre ottiche.

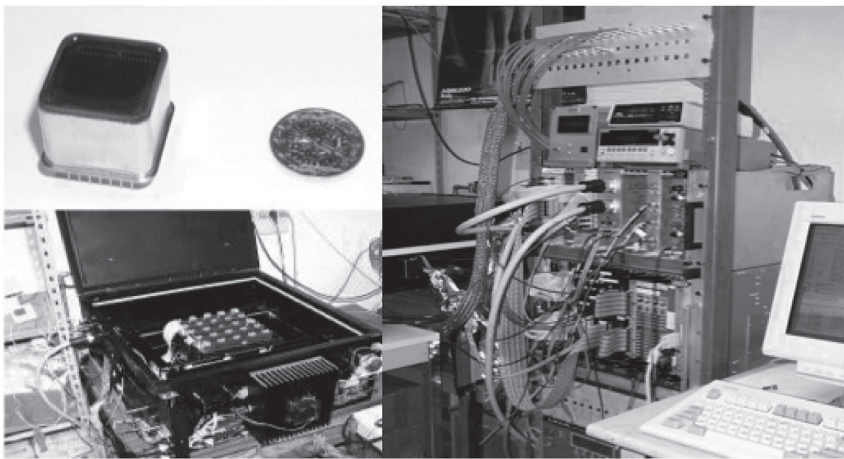


Figura 4. Apparato sperimentale sviluppato presso i laboratori dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Pisa per la caratterizzazione dei 1.500 fotomoltiplicatori del calorimetro Tile di ATLAS. In alto a sinistra è mostrata una foto di un fotomoltiplicatore accostato ad una moneta da 1 euro che permette di valutarne le dimensioni. In basso a sinistra è mostrato un particolare della scatola che conteneva i fotomoltiplicatori per le misure. A destra è mostrata l'apparecchiatura elettronica utilizzata per i test.

di particelle di questo tipo: i muoni e i neutrini. I primi, essendo carichi, rilasciano un segnale negli elementi sensibili del rivelatore e attraverso la misura della loro traiettoria è possibile misurare il loro impulso. I neutrini, invece, fuoriescono da ATLAS senza lasciare traccia. È solo attraverso la mancanza di una certa quantità di energia nel bilancio energetico delle singole interazioni che è possibile dedurre la produzione di neutrini in una particolare interazione. L'avventura della costruzione di questo complesso rivelatore è iniziata nel 1992, anno in cui è stata presentata la *letter of intent*, ossia il documento in cui si delineavano sia le ricerche che si volevano compiere, sia il progetto di massima del rivelatore con cui si intendeva eseguirle. Una volta approvato questo documento è iniziata la fase di costruzione. In questa fase ogni gruppo di ricerca ha contribuito al progetto finanziando, costruendo e mettendo in funzione una parte del rivelatore. Pisa ha partecipato alla messa in opera del calorimetro adronico contribuendo a tutti i passi della realizzazione di questo apparato, dalla progettazione fino alla costruzione e messa in opera. Tarcisio Del Prete, dirigente di ricerca presso l'Istituto di Fisica Nucleare di Pisa, è stato alla guida del gruppo di Pisa dal 1992 fino allo scorso anno ed è attualmente a capo della collaborazione Tile in ATLAS. Attualmente il coordinamento del gruppo di Pisa è passato al Prof. Vincenzo Cavasinni dell'Università di Pisa. Pisa è stata responsabile della costruzione di circa un ottavo della struttura di

ferro dei moduli del calorimetro. Questo lavoro è iniziato presso i laboratori dell'Istituto di Fisica Nucleare della sezione di Pisa nel 1998. In quest'anno, infatti, si era conclusa la fase di ricerca e sviluppo che ha permesso di scegliere al meglio tutte le componenti del calorimetro. Nella prima parte del lavoro sono stati sviluppati tutti i macchinari che hanno permesso di incollare e saldare gli strati di ferro fino a montare i moduli di 1200 Kg con una precisione spaziale di 1/50.000. Una volta definita la strategia di costruzione, tutti i macchinari sono stati trasferiti presso la ditta Galli Morelli di Lucca, dove è iniziata la produzione dei 310 elementi, che costituiscono un quarto del cilindro centrale del calorimetro adronico di ATLAS. Durante la produzione il contributo del gruppo di Pisa è stato fondamentale non solo per supervisionare il lavoro ma anche per il controllo qualità. Contemporaneamente alla costruzione dei moduli si sono attrezzati due laboratori di test e caratterizzazione, uno per i fotomoltiplicatori e uno per le fibre. La figura 4 mostra la foto di uno dei 10.000 fotomoltiplicatori utilizzati nel calorimetro adronico per rivelare la luce prodotta dal passaggio delle particelle e per trasformarla in impulso elettrico. Il 15% di questi fotomoltiplicatori sono stati caratterizzati a Pisa utilizzando l'apparato sperimentale mostrato in figura 4. L'ultima parte del lavoro di costruzione è consistita nel qualificare a campione le 700.000 fibre ottiche utilizzate per portare la luce ai fotomoltiplicatori. I lavori di costruzione a Pisa sono stati comple-

tati nel 2003 e nello stesso anno si è iniziato ad assemblare tutti i vari componenti per la costruzione del calorimetro presso il CERN. Nel 2006 il calorimetro è stato il primo rivelatore ad essere installato nella caverna sperimentale.

In questi ultimi anni il lavoro si è concentrato sullo sviluppo di molteplici sistemi di controllo che permettono, anche durante la presa dati, di verificare il corretto funzionamento del calorimetro e la precisione con cui la misura dell'energia delle particelle viene eseguita.

L'attività del gruppo di Pisa ha coinvolto anche decine di laureandi e dottorandi di fisica che hanno studiato la possibilità di misura in ATLAS di importanti capitoli di fisica quali, ad esempio, la teoria delle interazioni forti, QCD, e la produzione del bosone di Higgs. Molti tra questi giovani fisici, data la cronica carenza di possibilità di assunzione nell'ambito della ricerca in Italia, hanno trovato posizioni importanti in prestigiosi laboratori esteri negli Stati Uniti, in Gran Bretagna, in Francia, in Spagna, in Svizzera. Questo esodo continuo di ricercatori esperti è da considerarsi un grave spreco di risorse per le Università e gli enti di ricerca italiani.

Dopo il grande entusiasmo generato dal primo evento acquisito da ATLAS, l'incidente a LHC ritarderà di qualche mese il momento in cui si avranno le prime collisioni. ATLAS, tuttavia, si sta adoperando per sfruttare al meglio anche questi mesi ed arrivare all'inizio della presa dati pronta per le prime analisi.

Lo scopo di ATLAS è di indagare nuovi ed entusiasmanti capitoli di fisica a partire dal bosone di Higgs, fino alle particelle supersimmetriche e fenomeni inaspettati. Le prime analisi, tuttavia, dovranno essere dedicate a dimostrare di sapere misurare, con precisione equivalente o migliore, tanti dei processi già misurati da esperimenti precedenti. Questa fase di analisi è necessaria a dimostrare che il livello di comprensione di questo complesso rivelatore è adeguato alle successive e delicate analisi di scoperta. Conclusa questa fase ci aspettiamo che ATLAS possa, per un decennio e oltre, portarci nuove scoperte per migliorare la comprensione del nostro universo.

**Chiara Roda**  
ricercatore del dipartimento  
di Fisica "Enrico Fermi"  
roda@df.unipi.it

# L'esperimento Totem

di Stefano Lami

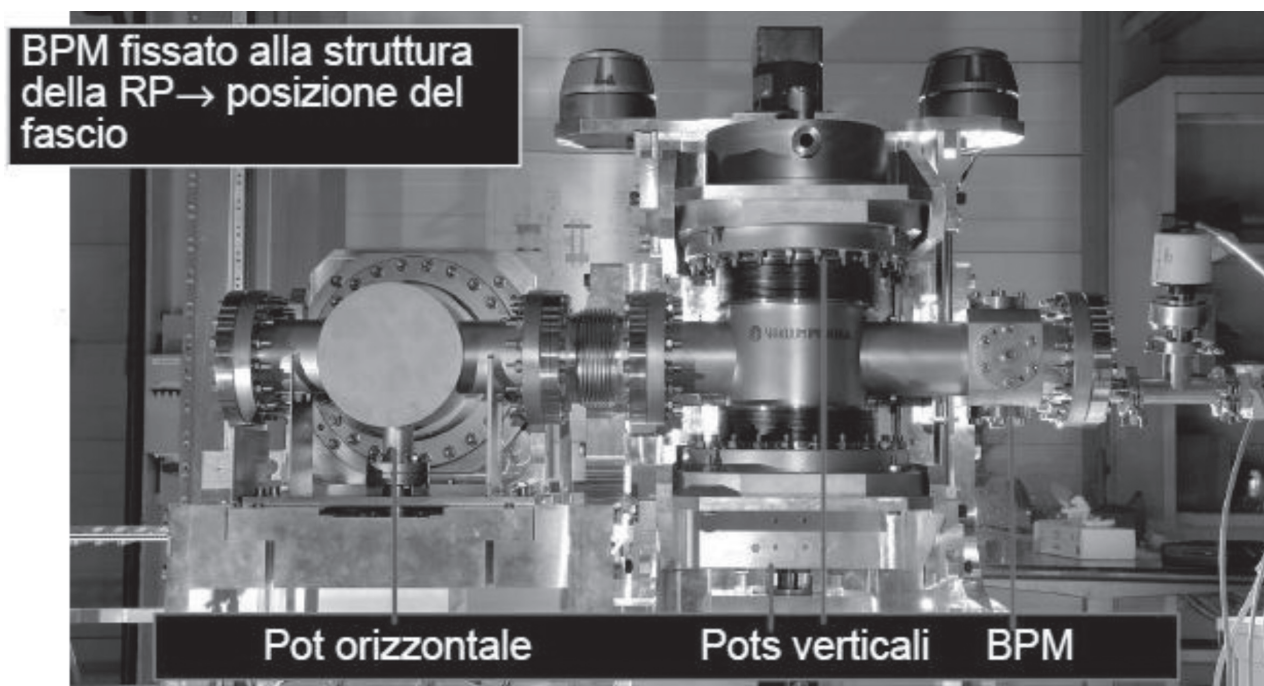
*Più di venti tra fisici, ingegneri e tecnici della Sezione INFN di Pisa e del dipartimento di Fisica dell'Università di Siena sono stati protagonisti nella realizzazione di TOTEM, uno degli esperimenti più piccoli dei sei progetti legati a LHC. Il professor Angelo Scribano, dell'Università di Siena, è il responsabile nazionale italiano del progetto, mentre Stefano Lami dell'INFN Pisa, è il responsabile locale del gruppo TOTEM Pisa/Siena e dall'Ottobre 2008 è vice responsabile internazionale dell'esperimento.*

**T**OTEM prevede di fare delle misure specifiche con tecniche sperimentali diverse dagli altri esperimenti: misure fondamentali per poter migliorare la nostra conoscenza della struttura interna del protone ed i meccanismi che determinano la sua forma e le sue dimensioni al crescere dell'energia. Si tratta quindi di misurare la frequenza delle collisioni protone-protone ed estrapolarne la probabilità che un protone ha di interagire con un altro protone a queste altissime energie. Tale probabilità, strettamente connessa con le dimensioni reali del protone, ne fornisce appunto una misura. In parti-

colare TOTEM studierà anche protoni che si sfiorano soltanto gli uni con gli altri quando i due fasci opposti di protoni s'incontrano, e il risultato è di avere due protoni uscenti dal punto d'interazione deviati ad angoli così piccoli, rispetto alla linea dei fasci, che per essere rivelati è necessario porre dei rivelatori di particelle prossimi o addirittura inseriti nel tubo a vuoto dell'acceleratore, dove appunto circolano i protoni in un verso e in quello opposto.

La misura della probabilità d'interazione protone-protone a LHC è importante per varie ragioni. Intanto questa probabilità non è una costante, ma cresce con

l'aumentare dell'energia dei protoni, e quindi va misurata ad ogni nuova energia disponibile, in questo caso quella di LHC. Questa misura fornisce un numero che vogliamo conoscere, per stimare poi la probabilità di misurare eventi rari e interessanti da parte di tutti gli esperimenti a LHC. L'attuale previsione per questo numero proviene dall'estrapolazione all'energia di LHC di misure fatte negli anni passati ad energie molto più basse. L'incertezza teorica su questa previsione è molto alta, dovuta al fatto che ad oggi non risulta esserci ancora una spiegazione teorica pienamente soddisfacente delle collisioni complessive protone-protone,



*Figura 1. Un'unità delle Roman Pot (RP): due pozzetti si muovono verticalmente ed uno orizzontalmente. Il tubo orizzontale centrale viene inserito come elemento del tubo a vuoto dell'acceleratore LHC. Un rivelatore Beam Position Monitor (BPM) fornisce una misura della posizione relativa del fascio passante.*



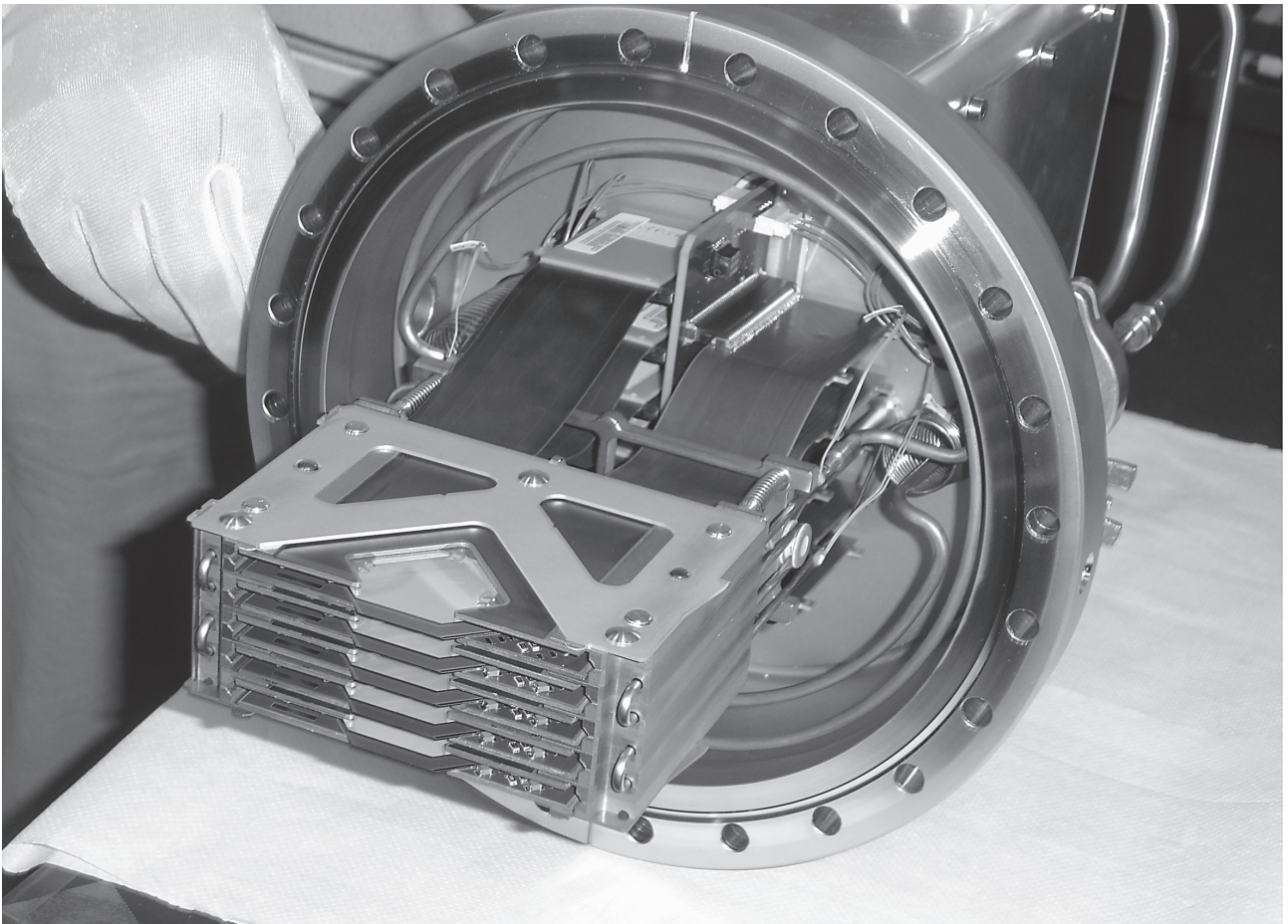


Figura 2. Il sistema di rivelazione dei protoni diffusi a piccolo angolo è formato, in ciascun pozzetto RP, da 10 rivelatori al silicio assemblati su 5 piani paralleli.

comprese quelle dove le particelle spesso si sfiorano soltanto, e la loro descrizione deve quindi rifarsi a modelli fenomenologici. Una misura precisa da parte di TOTEM aiuterà quindi a discriminare sui vari modelli oggi esistenti e aiuterà a comprendere meglio queste collisioni.

Questa misura contribuirà anche ad una migliore comprensione della fisica dei raggi cosmici d'alta energia, per la somiglianza tra l'interazione nucleare di un raggio cosmico primario, che spesso è un protone, con i nuclei degli elementi dell'atmosfera e l'interazione protone-protone a LHC. Molti dei protoni provenienti dal cosmo hanno l'energia dei protoni circolanti in LHC.

Non sono da escludere a priori delle sorprese su questa misura a LHC. Numeri diversi dalle previsioni teoriche sarebbero un segnale di nuova fisica: per esempio, l'esistenza di extra dimensioni compatte per lo spazio-tempo.

L'apparato sperimentale di TOTEM consiste di tre sottosistemi. Due sistemi di tracciatori, ovvero rivelatori di tracce di particelle cariche, T1 e T2, sono situati nella stessa caverna dell'esperimento CMS, uno dei grandi apparati sperimentali

a LHC. Posti attorno alla linea dei fasci e alle estremità di CMS, rivelano le particelle cariche eventualmente prodotte dalle collisioni fra protoni e ricostruiscono il vertice dell'interazione. Mentre i protoni, usciti intatti dalla collisione e diffusi ad angoli piccolissimi, vengono misurati da rivelatori posti in *Roman Pot* (cosiddetti pozzetti romani) a grande distanza dal punto d'interazione, a 150 e 220 metri, su entrambi i lati. I rivelatori di TOTEM sono tutti simmetrici rispetto al punto d'interazione. Il nome di pozzetti romani deriva dalla forma a pozzo e al fatto che furono impiegati per la prima volta da un gruppo di fisici romani guidati da Ugo Amaldi al primo collisionatore di protoni del CERN circa trentacinque anni fa.

Ogni stazione di *Roman Pot* consiste di due unità, ciascuna con tre pozzetti, due che si muovono verticalmente e uno orizzontalmente. Questi pozzetti sono inseriti nel tubo a vuoto dell'acceleratore e si possono muovere fino a portare, tramite la compressione di appositi soffiotti, il bordo interno del rivelatore a silicio in essi presente fino a solo 1mm dal fascio. I rivelatori inseriti nei Roman Pot sono ri-

velatori con semiconduttori di silicio che ricostruiscono le tracce dei protoni con precisione micrometrica. La sfida tecnologica è stata quella di produrre rivelatori senza bordo, cioè che siano efficienti fino al bordo interno del rivelatore prossimo al fascio, minimizzando la regione non sensibile. Ogni pozzetto contiene dieci di questi rivelatori.

Il tracciatore T1 è formato da 5 piani di rivelatori per lato, lungo la direzione del fascio e posti attorno ad esso. Sono camere a fili, che permettono una grande copertura angolare, riempite con una miscela di gas, il cui principio di rivelazione è il meccanismo di moltiplicazione a valanga delle cariche generate dalla ionizzazione nel gas lungo la traiettoria delle particelle.

Infine T2 è il rivelatore su cui il gruppo di Pisa/Siena ha dato il maggior contributo, dalla progettazione alla realizzazione dell'elettronica di lettura fino all'installazione attorno al fascio di LHC. A più piccolo angolo il tracciatore T2 è basato sulla tecnologia GEM (Gas Electron Multiplier) per la sua robustezza e precisione micrometrica. Anche in questo caso si tratta di rivelatori riempiti

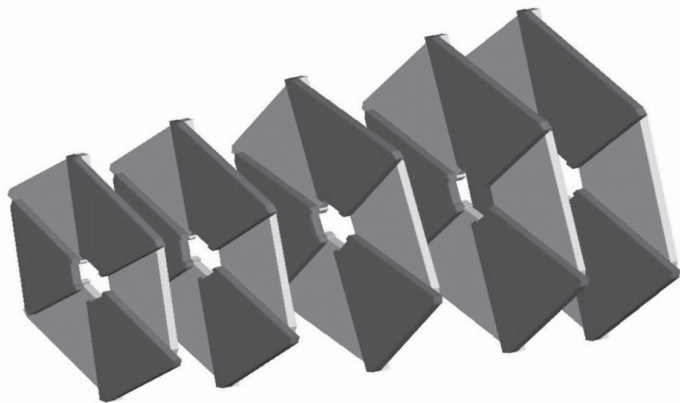


Figura 3. Il tracciatore T1 è costituito da cinque piani di rivelatori a gas di particelle cariche ai due lati del punto d'interazione protone-protone.

con gas (argon e anidride carbonica) ma anziché fili si utilizzano sottili fogli di poliammide ricoperti di rame e attraversati da un gran numero di fori, inseriti fra un elettrodo catodo e un piano di raccolta; questi fori sono responsabili della moltiplicazione della carica elettrica. Il T2 è formato da 10 piani di rivelatori a GEM, ciascuno ha una forma semicircolare per cui due metà di tracciatore si chiudono in modo da coprire l'intero angolo di 360 gradi attorno alla linea di fascio.

Il numero totale dei singoli elementi di lettura dei segnali è di circa 250000 canali, letti da sistemi di elettronica appositamente sviluppati. Il costo totale dell'ap-

parato sperimentale di TOTEM è stato di circa 6 milioni di franchi svizzeri.

Vediamo adesso come questi rivelatori sono utilizzati nella misura della probabilità di collisione fra protoni.

L'equazione di Einstein  $E=mc^2$ , che esprime il principio di equivalenza massa-energia, cioè che la massa non è altro che una forma di energia, è valida nelle collisioni fra particelle elementari che generano nuove particelle aventi complessivamente la stessa energia, o massa.

A seconda della configurazione di particelle prodotte nello stato finale, possiamo classificare queste collisioni secondo tre categorie. La complessiva probabilità

di collisione protone-protone è data così dalla somma dei seguenti tre casi:

- collisioni inelastiche: è il caso più frequente, dove i due protoni iniziali si disintegrano in varie particelle uscenti dal punto d'interazione; quelle cariche sono rivelate dai tracciatori T1 e T2.

- collisioni elastiche: i due protoni escono intatti dalla collisione, ma deviati di angoli molto piccoli e collineari (come in un urto fra due palle di biliardo che si sfiorano). Vengono rivelati dai *Roman Pot* su lati opposti.

- collisioni quasi-elastiche o diffrattive: è un caso intermedio, dove l'esempio più semplice è da un lato uno stato finale con un protone intatto, che ha perso un po' della sua energia e viene rivelato in un *Roman Pot*, e dall'altro una produzione di particelle rivelate da T1 e T2 per quanto riguarda le particelle cariche.

Va infine ricordato che TOTEM fornirà misure molto precise sull'intensità dei fasci di protoni circolanti in LHC, misure necessarie sia agli scienziati degli altri esperimenti che agli ingegneri dell'acceleratore.

**Stefano Lami**

ricercatore dell'INFN di Pisa

stefano.lami@pi.infn.it

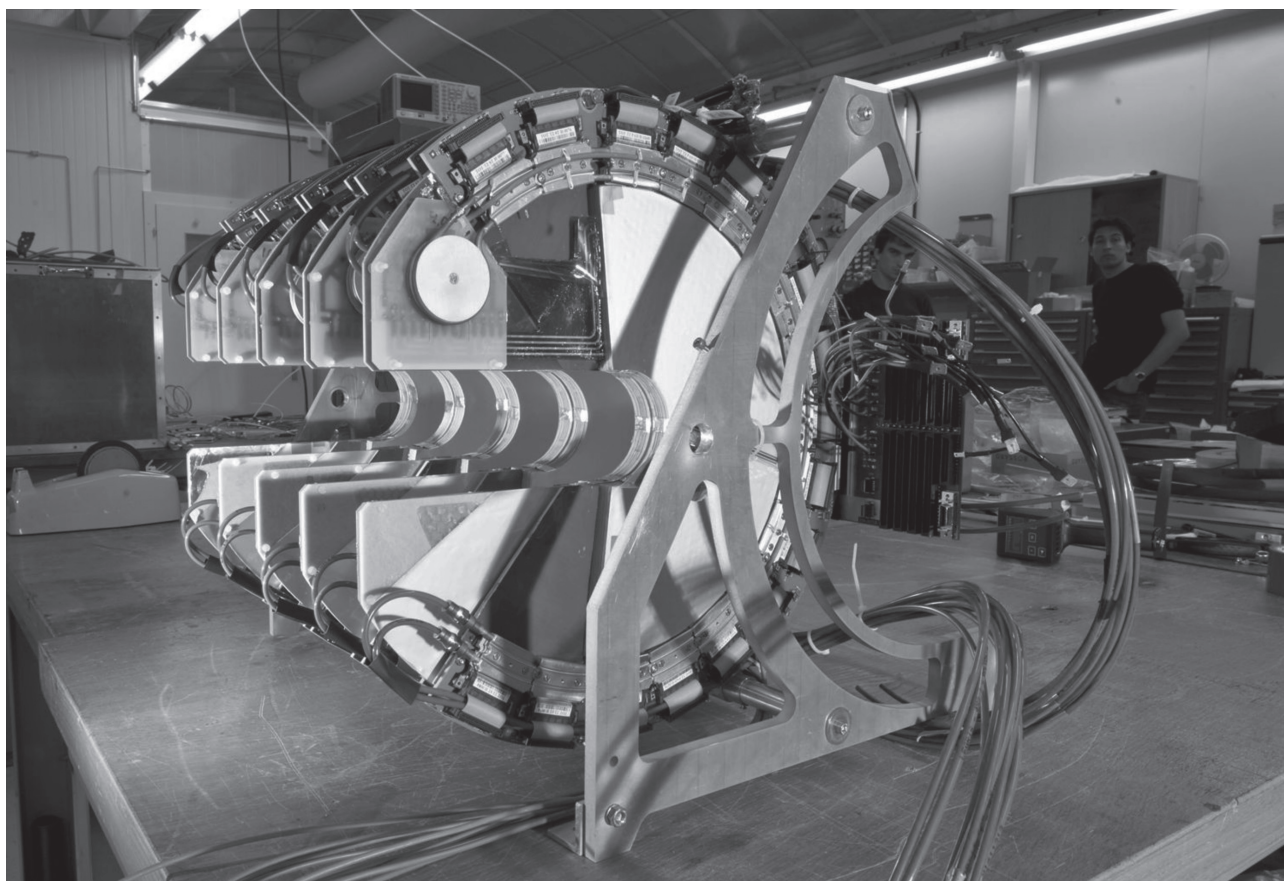


Figura 4. Dieci moduli semicircolari del rivelatore T2 (montati fronte-retro su cinque piani) nel laboratorio prima dell'installazione.

# Pisa e i Lorena

## *Sovrani nel giardino d'Europa*

di Michele Finelli

*“La Toscana viene spesso chiamata il giardino d'Italia, è quasi come dire quello d'Europa”: da questa suggestiva considerazione di Simonde de Sismondi, contenuta nel Tableau de l'agriculture Toscane del 1801, e da altre simili citazioni di viaggiatori sette-ottocenteschi prende il titolo la mostra che è stata ospitata al Museo di Palazzo Reale dal 20 settembre al 14 dicembre 2008. Curata da Romano Paolo Coppini, affiancato nella direzione scientifica da Alessandro Tosi, l'esposizione ha rappresentato la degna conclusione di una serie di iniziative dedicate allo stretto rapporto dei Lorena con la città.*

Nel giugno del 2005 al tema “Pisa e i Lorena” furono dedicate tre giornate di studio: *L'Ateneo Riformato: l'opera di Gaetano Giorgini*; *i Viaggi di Studio: l'Egitto di Ippolito Rosellini*; *Tra Flora e Pomona: Gaetano Savi e Giorgio Gallesio*, mentre furono tenuti altri incontri sui Bagni di San Giuliano e a Montefoscoli sui Vaccà Berlinghieri. Le conferenze erano state accompagnate da piccole esposizioni che hanno costituito la prima anticipazione della mostra odierna. Università, cultura e scienze: già dagli incontri del 2005 Coppini e Tosi, che hanno curato anche il bel catalogo della mostra, avevano insistito sul nesso tra la presenza dei Lorena a Pisa e la crescita della città, ed ovviamente del Granducato.

I Lorena regnarono in Toscana a partire dal 1737, con la reggenza di Francesco Stefano, ma fu con l'avvento di Pietro

Leopoldo al trono granducale, nel 1765, che la regione conobbe una stagione di crescita e sviluppo i cui frutti andarono ben oltre il 1859, quando Leopoldo II fu costretto a lasciare la Toscana.

È opportuno sottolineare fin da ora come la corte leopoldina abbia sempre apprezzato Pisa non solo come luogo in cui trascorrere la stagione invernale, ma anche per la semplicità dei rapporti umani e soprattutto per le notevoli affinità culturali di Pietro Leopoldo con un ambiente dinamico e aperto alle scienze. Non è un caso che proprio a Pisa, il 30 novembre 1786, Pietro Leopoldo abbia firmato “La nuova legge criminale”, che come è noto abolì la pena di morte e la tortura. Tale provvedimento faceva parte di quel più vasto progetto di riforme istituzionali, propedeutiche al “Progetto di costituzione”, redatto negli anni '80 e presente in mostra nelle due stesure

del 1782, proveniente dall'Archivio di Stato di Firenze e del 1787, custodito nell'Archivio Nazionale di Praga. I documenti introducono senza dubbio a una delle parti più suggestive della mostra: non è casuale che il visitatore incontri i preziosi manoscritti all'inizio del percorso espositivo, dopo i ritratti di Pietro Leopoldo e della consorte Maria Luisa. Come ricorda Romano Paolo Coppini nell'introduzione al catalogo, il progetto era stato ispirato dalla concezione della società aperta e moderna di Pietro Leopoldo, il quale, giunto in Toscana, aveva constatato con amarezza l'assenza di “un governo senza veruna legge fondamentale, ed interamente arbitrario ed ingiusto, perché fondato sulla violenza e non sul consenso dei popoli che solo possono legittimarne l'istituzione”. Nonostante la costituzione non sia mai stata promulgata, Coppini sottolinea che “il mito dell'opera riformatrice” leopoldina, ha rappresentato, assieme alla legislazione criminale, un patrimonio ideale di riferimento per i liberali toscani e italiani che a più riprese, come nel 1830 e nel 1831, senza successo, e nel 1848, proficuamente, ne avrebbero richiesto la concessione. Del resto non bisogna dimenticare che tale fama fece sì che Mozart dedicatesse a Pietro Leopoldo la “Clemenza di Tito”, rappresentata per la prima volta a Praga nel giorno dell'incoronazione di Pietro Leopoldo. Tale evento è ricordato nella mostra dalle belle acqueforti di Kaspar Pluth, raffiguranti scene del corteo imperiale fino alla incoronazione delle loro maestà nella Cattedrale di San Vito. Questa



Foto di Bruno Sereni

sequenza di dieci raffinate tavole e il libretto mozartiano, insieme a uno dei primi spartiti, sono esposti per la prima volta in Italia.

I curatori, dunque, riprendendo e valorizzando ulteriormente i temi al centro delle giornate di studio del 2005, hanno suddiviso la mostra in tre sezioni: “La politica, le istituzioni”; “La cultura, le idee”; “Le arti, il territorio”. Dall’esposizione emerge con chiarezza il ruolo di Pisa come capitale culturale, “in grado di rivestire un ruolo di primo piano nel panorama europeo grazie soprattutto ad alcuni docenti della sua Università, come Paolo e Gaetano Savi, Giovanni Carmignani, Pietro Capei, Ippolito Rosellini, Luigi Puccinotti, Maurizio Bufalini”.

La prima sezione offre ampio spazio alle tre istituzioni sulle quali Pisa aveva costruito il suo ruolo di “importante centro “burocratico-amministrativo”” del Granducato: l’Università, l’Ordine di Santo Stefano e l’Ufficio dei Fossi. Sotto l’azione riformatrice di Pietro Leopoldo – come ricordano nel catalogo Franco Angiolini, Gaetano Greco, Alessandro Breccia e Marco Manfredi – tali organismi persero il tradizionale immobilismo, e in particolare l’Università, dopo il Congresso degli Scienziati del 1839, divenne “uno dei centri [...] più importanti della penisola”,

assumendo quella “vivacità politica [...] che coinvolgeva in un unico slancio “nazionale” cittadini, studenti e molti professori dell’Ateneo”. Tale vivacità si sarebbe concretizzata nel sentito contributo pisano in occasione della prima

*È essenziale che chi sarà  
a capo del governo  
della Toscana abbia sempre  
in vista di procurare  
i maggiori vantaggi possibili  
alla vasta e fertile provincia  
pisana, troppo interessante.*

Pietro Leopoldo

guerra d’indipendenza e in particolare nel sacrificio di Curtatone e Montanara, degnamente raccontato in mostra dalla litografia raffigurante Elbano Gasperi in battaglia e dal dipinto di Pietro Senno del 1861, *I Toscani a Curtatone*. Ampio spazio è dedicato con particolare competenza alle quattro riforme dell’ordinamento comunale di età lorenese, illustrate da Danilo Barsanti. La storia della

comunità ebraica pisana nella toscana granducale è mirabilmente ricostruita da Mirella Scardozzi. Alla corte e alla vita quotidiana sotto i Lorena è dedicato il raffinato saggio di Orsola Gori, che tocca tanti temi della mostra illustrati in particolare dai quadri di Giuseppe Maria Terreni sul *Ballo nel cortile del Palazzo della Sapienza* e sull’*Accampamento delle truppe destinate al Gioco del Ponte in Piazza del Duomo*, eseguiti in occasione della visita dei reali di Napoli, Ferdinando I di Borbone e Maria Carolina, sorella di Pietro Leopoldo. Di particolare interesse è il saggio di Moira Brunori e Caterina Chiarelli, che descrive la moda al tempo dei Lorena, felicemente illustrata in mostra da quattro splendidi abiti.

Un segno inequivocabile della vivacità culturale pisana è dato dalla presenza dello stesso Carlo Goldoni in città, ricordato dal quadro di Annibale Gatti *Goldoni a Pisa che recita un sonetto nel giardino di Palazzo Scotto alla presenza degli Arcadi al Sei*. Maria Augusta Morelli Timpanaro ricostruisce il soggiorno pisano di Carlo Goldoni, sottolineando come la sua permanenza in città, durata quattro anni (dalla fine del 1744 alla Pasqua del 1748), sia stata particolarmente fruttuosa. A Pisa il drammaturgo veneto stese *Il servitore di due padroni*, *Il figlio di Arlecchino perduto e ritrovato*, *Il frapportatore*, *I due gemelli veneziani* e *L’uomo prudente*. Fu proprio

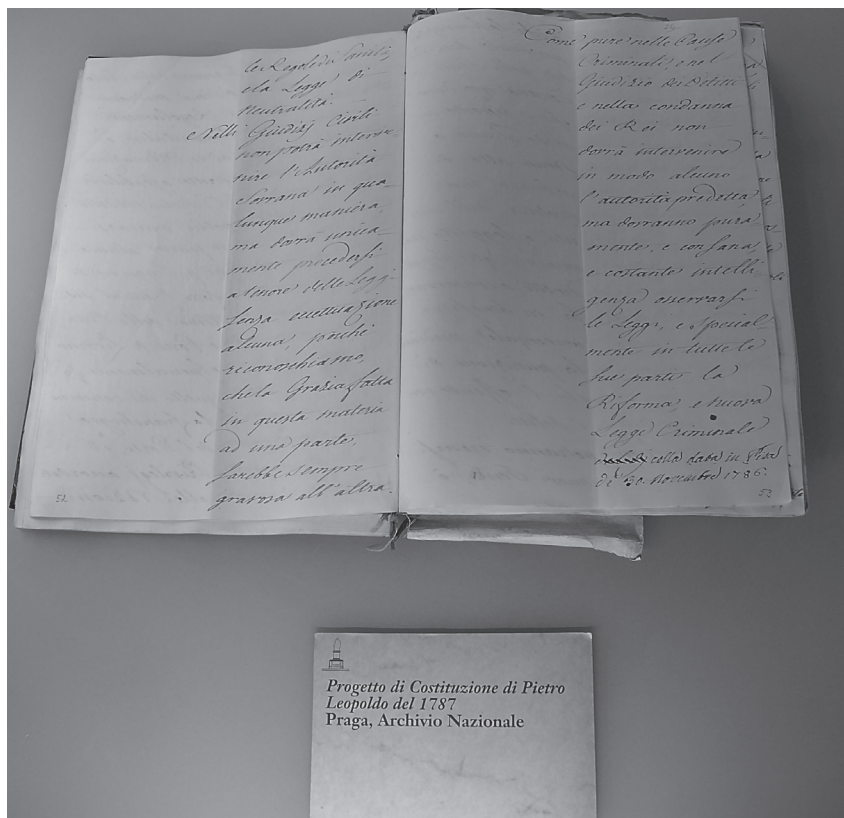


Foto di Bruno Sereni

il composito mondo pisano, col quale Goldoni entrò in contatto, esercitando la professione di avvocato civile e criminale, a ispirargli gran parte di questi lavori. La realtà che Goldoni incontrò non era fatta di soli nobili, ma anche di “mercanti, artigiani [e] persone comuni”.

Grande impulso in questo periodo ebbero anche le arti, attraverso l'attenta opera di recupero e valorizzazione dei monumenti pisani; a questo proposito si segnala l'inserimento di un pezzo pregiato come la “statua ideale antica” nello scalone di Palazzo Reale, e la collocazione sullo Stradone delle Cascine, nel 1786, di quattro statue raffiguranti divinità antiche fatte arrivare direttamente da Boboli.

Di maggior rilievo, senza dubbio, è il forte interesse nutrito dai Lorena verso l'Egitto, culminato nella spedizione di Ippolito Rosellini e Jean-François Champollion nella terra dei faraoni tra il 1828 ed il 1829, ricostruita da Edda Bresciani. Proprio al Rosellini, nel 1826, Leopoldo II aveva affidato la prima cattedra di Egittologia, mentre nel 1827 lo inviò a Parigi dove aiutò Champollion nella catalogazione del materiale egiziano del Louvre. Fu in quell'anno che i due, assieme al fratello di Champollion, Jaques, e allo zio di Rosellini, Gaetano, cominciarono a pianificare la spedizione che, nei loro obbiettivi, avrebbe dovuto



spingersi più a sud di quella della *Commission*. Inoltre, grazie alle scoperte dello stesso Champollion, sarebbe stato possibile decifrare i geroglifici presenti in tutti i monumenti, dopo aver proceduto a una sistematica opera di rilievo. Finanziata da Carlo X e da Leopoldo II, la spedizione ebbe un enorme successo, non

solo per la quantità enorme di materiale raccolto e per il contributo offerto al miglioramento delle tecnologie di rilievo, ma anche per la perfetta sintonia tra Rosellini e Champollion, che operarono, come testimoniano le loro lettere, senza alcuna frizione. Nel 1830 Rosellini organizzò a Firenze, presso l'Accademia delle Arti e dei Mestieri, una prima mostra degli oggetti raccolti durante la spedizione; nello stesso anno, a Pisa, espose alcuni disegni dei monumenti egizi, che negli anni successivi avrebbe raccolto nei volumi dei *Monumenti*, ben documentati peraltro all'interno della mostra.

Anche le scienze conobbero un particolare impulso, grazie soprattutto alla Riforma dell'Ateneo operata da Gaetano Giorgini dopo il Congresso degli Scienziati. Luigi Pacinotti e Carlo Matteucci furono due elementi fondamentali per la crescita di un'università che non avrebbe dovuto occuparsi semplicemente degli aspetti didattici, ma anche della ricerca applicata alla società. Matteucci in particolare si occupò di elettricità e magnetismo, meteorologia e soprattutto è annoverato tra i padri della elettrofisiologia per “aver scoperto la generazione di corrente elettrica generata dallo sforzo muscolare”. Come sostiene Alessandro Volpi nel catalogo, sotto gli auspici dei Lorena si concretizzò un modello di “Università di Stato”.

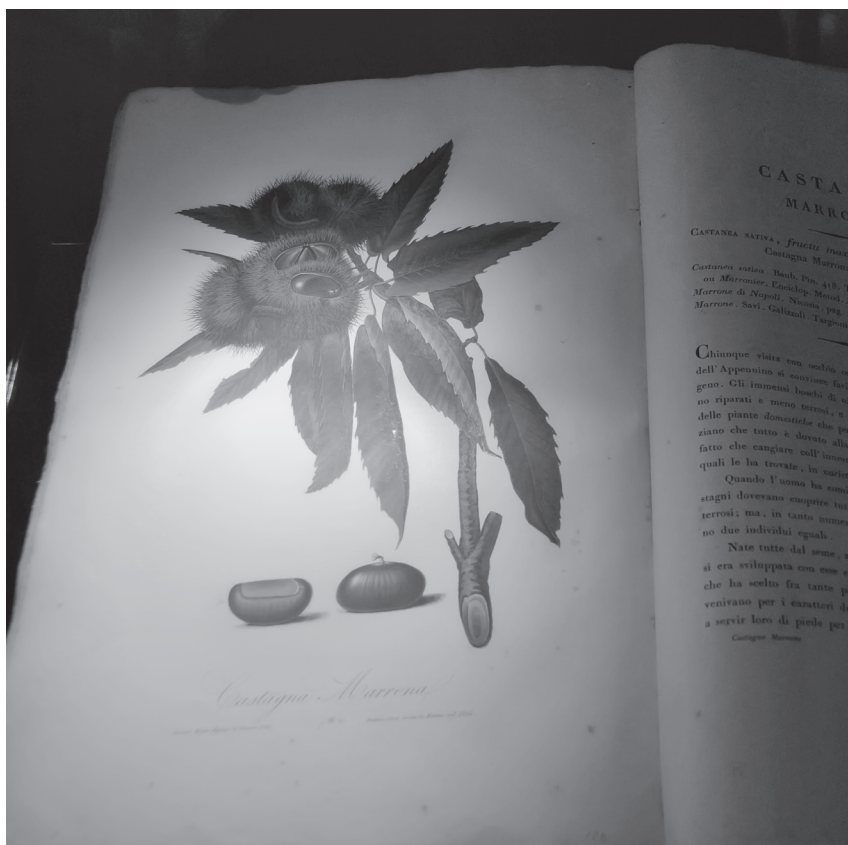


Foto di Bruno Sereni

Altrettanto può dirsi per le scienze naturalistiche, che in questo periodo conobbero un notevole sviluppo. A partire dal 1787 era stato potenziato l'Orto botanico e arricchite le collezioni del Museo di Storia Naturale, mentre tra il 1817 e il 1839 vide la luce una delle più significative opere di illustrazione naturalistica del XIX secolo, la *Pomona Italiana* di Giorgio Gallezio. Tra il 1818 e il 1824, grazie allo stimolo proveniente dall'opera di Gallezio, Gaetano Savi realizzò la *Flora Italiana* ossia una raccolta delle piante più belle che si coltivano nei giardini d'Italia, illustrata sulla base degli esemplari raccolti presso l'Orto botanico. Come ricordano Fabio Garbari, Federico Tognoni, Pietro Corsi e Claudio Luperini, fu grazie a quest'impulso e agli stimoli indirizzati a Leopoldo II da Carlo Luciano Bonaparte, da Giovan Pietro Vieusseux, da Gino Capponi e da Cosimo Ridolfi, che fu possibile ospitare a Pisa il Primo congresso degli scienziati, ricordato nella mostra grazie al bel manifesto a colori della *Prima Riunione degli Scienziati Italiani in Pisa del 1839*, proveniente dall'Archivio Nazionale di Praga.

La terza sezione valorizza l'interesse dei Lorena per il territorio urbano e agreste.

Lo strumento migliore per illustrare è stato individuato nella raccolta di *Mappe e Piante* appartenenti alla famiglia, prestate dall'Archivio Nazionale di Praga ed esposte per la prima volta in quest'occasione in un suggestivo allestimento. Fra queste di particolare rilievo appaiono *La Carta dello Stato Pisano post 1825*, *Il Granducato di Toscana diviso in tre province*, di Francesco Giachi, del 1780, ed una carta del *Compartimento Pisano. Territorio unito* risalente del XIX secolo. Grazie alle mappe si può notare la cura e l'attenzione rivolta dai Lorena al territorio: vale la pena di ricordare che all'indomani dell'unità la rete stradale toscana aveva una lunghezza complessiva di 12.381 km, contro i 366 della media nazionale. Anche i quadri del pittore di corte Giovanni Signorini, *L'inondazione del Serchio*, e di Enrico Pollastrini, *Una famiglia salvata dall'inondazione del Serchio*, commissionati da Leopoldo II dopo l'alluvione del 1836, evento dal quale il Granduca era rimasto particolarmente toccato, offrono un'ulteriore possibilità di riflessione sul valore primario assegnato dai Lorena alla prevenzione rispetto alle calamità naturali attraverso la cura del territorio. In tal senso si mosse anche la valorizzazione

voluta dalla dinastia della stessa tenuta di San Rossore. Fu Leopoldo II a portare a termine la trasformazione di San Rossore in residenza ufficiale attraverso interventi architettonici e urbanistici di notevole rilievo. In quest'ottica furono potenziati i bagni marini del Gombo e fu realizzato il "Prato degli Escoli", primo ippodromo cittadino, come testimoniato dal bel dipinto di Louis Paternostre, *Corsa di cavalli a San Rossore*.

Naturalmente non abbiamo la pretesa di offrire in queste pagine un quadro esauriente su una mostra che, per estensione e varietà, merita una attenta visita. Nonostante tocchi argomenti diversi, solo apparentemente distanti tra loro, il percorso espositivo si presenta piacevole e facilmente comprensibile perché tenuto insieme da un filo conduttore incentrato sui Lorena e la loro moderna concezione dello stato. Pietro Leopoldo e i suoi successori, almeno fino al 1848, hanno concepito il Granducato non come sovrani assoluti, ma come un territorio da valorizzare nell'interesse e al fine di perseguire la "felicità della collettività". A differenza dei sovrani dell'epoca, Pietro Leopoldo e Leopoldo II, come ricorda Giuliana Biagioli, percorsero "quasi palmo a palmo" tutta la Toscana.





Foto di Bruno Sereni

I granduchi, che potevano contare su un'università riformata, affidarono ai matematici e agli scienziati pisani un importante ruolo nella realizzazione delle bonifiche del territorio.

Allo stesso modo, gli interventi di miglioramento del paesaggio urbano e agreste, erano funzionali a quella che Alessandro Tosi ha descritto come

un'antesignana "promozione" del territorio.

In quest'ottica si sviluppò, tra il XVIII e il XIX secolo, la produzione di pittori come Giovan Battista Tempesti, Giuseppe Maria Terreni, Jacob Philip Hackert ed Enrico Pollastrini.

Questa traduzione immediata del "sapere scientifico [...] in un rinnovato linguaggio della pittura" cui ha fatto riferimento Tosi, è indicativa del clima di progresso e contaminazione culturale che si respirava nel Granducato. In quest'ottica del resto furono chiamati ad insegnare presso l'Università di Pisa docenti in esilio o semplicemente "invisi ai loro governi", come Ottaviano Mossotti o Leopoldo Pilla, cui era stato impedito di partecipare al Congresso degli Scienziati. Così, dopo aver completato il percorso espositivo, il visitatore non solo assume una consapevolezza maggiore sul ruolo centrale svolto da Pisa nello sviluppo della Toscana tra il XVIII ed il XIX secolo, ma può riflettere ulteriormente sui principi di tolleranza che ispirarono il Progetto di Costituzione di Pietro Leopoldo.

Il fatto che la stagione di riforme si sia interrotta nel 1849, dopo il rientro di Leopoldo II sotto la protezione dell'esercito austriaco, non può far

dimenticare i meriti dei Lorena. Lo stesso Pesendorfer è costretto a riconoscere che dopo tale data non solo i repubblicani, ma anche i liberali, abbracciarono la causa unitaria. Ma è indubbio che sia stato proprio grazie al clima di apertura culturale e di tolleranza politica respirato fino al 1848, che importanti esponenti del liberalismo toscano, come Bettino Ricasoli e Carlo Matteucci, abbiano potuto ricoprire importanti cariche nello stato unitario.

È da sottolineare, infine, la proficua collaborazione sviluppatasi, nell'allestimento della mostra con l'Archivio Nazionale e la Biblioteca Nazionale di Praga, destinata ad essere in futuro foriera di nuove fruttuose iniziative. Come ricorda Eva Gregorovicova, l'Archivio dei Lorena a Praga costituisce una fonte primaria e ancora ricca di sorprese, per la ricostruzione e la diffusione della storia di Pisa e della Toscana. Sovrani nel giardino d'Europa rappresenta, per fortuna, un incoraggiante passo in quella direzione.

**Michele Finelli**

*dipartimento di Scienze della Politica*



Foto di Bruno Sereni

# Le tre giornate di Fiorano

La monoposto dell'Università di Pisa ha debuttato in Formula SAE

EVENTI

di Antonella Magliocchi

Dal 20 al 22 settembre si è svolta a Fiorano la quarta edizione della Formula SAE Italy organizzata dall'Associazione Tecnica dell'Automobile. L'evento rientrava nel circuito delle competizioni SAE (Society of Automotive Engineers) organizzate negli Stati Uniti, in Australia, Brasile e Gran Bretagna. La Formula SAE è nata nei primi anni Ottanta negli Stati Uniti e ha visto crescere progressivamente l'interesse delle università e delle aziende che operano nel campo dell'ingegneria automobilistica. In particolare per le università si tratta di un'occasione di fondamentale importanza per stimolare la creatività degli studenti e mettere in pratica le conoscenze teoriche. L'edizione del 2008 ha visto per la prima volta la partecipazione dell'Università di Pisa, rappresentata dall'ETeam Squadra Corse. Vi presentiamo un resoconto delle tre giornate di gara.

**S**abato 20 settembre. È ancora buio quando i team si radunano nel centro di Maranello davanti alla Galleria Ferrari. Sono le sei di mattina e fra i primi ad arrivare ci sono i

membri del team indiano della Manipal University. Sono quelli giunti da più lontano. Gli altri vengono prevalentemente dall'Europa, Germania in primo luogo, presente con ben 14 squadre, poi

Austria, con tre e, a seguire, Svizzera, Olanda, Ungheria e ovviamente Italia, rappresentata da 12 università: da Torino a Cosenza, da Padova a Catania, da Firenze a Cagliari, per citarne alcune. Quest'anno per la prima volta partecipa anche l'Università di Pisa con la vettura ET1 dell'ETeam Squadra Corse, equipaggiata con motore Aprilia fornito dalla Piaggio.

I ragazzi si muovono a proprio agio nel buio, alle prese con la sistemazione del camion contenente l'officina con tutta l'attrezzatura. Sono arrivati a Maranello la sera prima alle due di notte. Hanno dormito poche ore, ma ormai questa sembra essere una costante di quest'ultima, frenetica, settimana di lavoro, trascorsa fra l'officina allestita in facoltà e la pista dell'aeroporto militare di Pisa, messa generosamente a disposizione dalla 46° Aerobrigata per poter effettuare le prime vere prove su pista prima di affrontare la gara.

Alle 11 si svolge la cerimonia di apertura, ma la festa dura davvero poco. Iniziano subito le prime ispezioni tecniche che sono fondamentali per poter essere ammessi alla gara.

I commissari sono molto attenti a verificare il rispetto dei requisiti tecnici definiti nel regolamento e in particolare a controllare tutto ciò che attiene la sicurezza. Verificano l'altezza dei tubi di scarico, la sicurezza dell'impianto frenante, che gli attacchi delle cinture di sicurezza siano ben fatti e che la vettura sia corredata dei cosiddetti *arm restraints*. *Arm*



Foto di Lorenzo Varelli

Daniele Siano e Mario Bertolotti, piloti della ET1.



*restraints?* Ma di cosa stiamo parlando? Nessuno sa cosa siano, nessuno li ha mai visti. Ma una cosa è certa: senza questi dispositivi, che servono a trattenere le braccia del pilota e a garantirne la sicurezza, nessuna macchina può correre. Un brivido scuote il team, anche perché presto si scopre che in Italia non sono in commercio! Ma i ragazzi non si perdono di animo e finalmente ne recuperano un paio dalla squadra di Zurigo. La Formula SAE è anche questo: forte competizione e grande solidarietà.

I commissari verificano anche che il pilota sia in grado di abbandonare la vettura in meno di cinque secondi, che il pulsante di spegnimento del motore sia a portata di mano del pilota e che la batteria sia fissata in maniera adeguata. Insomma, tutto viene controllato nei minimi particolari, in certi casi ai limiti della pignoleria, come quando vengono giudicate insufficienti le dimensioni del numero posto sulla vettura, più piccolo di un centimetro e mezzo rispetto allo standard, che i ragazzi sono costretti ad allargare facendo uso di un pennarello. La fantasia certo non manca.

In conseguenza di queste prime ispezioni la vettura subisce una serie di modifiche che sono la dimostrazione più tangibile della reattività della squadra e della capacità di affrontare e risolvere i

problemi con determinazione.

**Domenica 21.** Finalmente l'emozione di varcare i cancelli della Pista di Fiorano e di sistemare la vettura al box.

Nessuno ci crede veramente di essere lì, soprattutto se si pensa che l'avventura è iniziata solo a gennaio di quest'anno partendo praticamente da zero: dalla costituzione del team all'individuazione della stanza per allestire l'officina, potendo contare su un finanziamento iniziale di soli 5.000 euro messi a disposizione dalla facoltà. Meno di nove mesi per progettare e costruire la monoposto e occuparsi anche del reperimento degli sponsor, impresa tutt'altro che facile.

La giornata di domenica è dedicata a una serie di prove statiche.

Si parte alle 9.30 con la presentazione del progetto. Tutti i team a turno devono presentare il proprio progetto davanti ai commissari e devono riuscire a convincerli che possa esserci qualcuno disposto ad acquistare quella vettura e che valga la pena produrla in mille esemplari. I ragazzi puntano sui costi modesti - la monoposto, come da regolamento, non supera i 25.000 dollari e può essere riparata in maniera economica - e sulla grande versatilità: capacità di regolazione delle sospensioni, mappatura del motore, elettronica raffinata,

cambio robotizzato.

Più tardi all'interno del box si svolge la presentazione del progetto tecnico seguita dall'analisi dettagliata dei costi. Quella che dovrebbe essere una parte meno critica suscita invece qualche preoccupazione: la squadra rischia infatti di essere esclusa per una cattiva interpretazione di certi dati di spesa.

Finalmente, dopo aver effettuato il rifornimento di benzina, si parte per la prova di ribaltamento (*Tilt Test*): i giudici verificano che la macchina, inclinata fino a 60 gradi, che sono davvero un'enormità, non perda liquidi e non si ribalti. La prova è superata!

Poi vengono testate la rumorosità e la capacità di frenata (*Noise and Brake Test*). La macchina deve avere una rumorosità inferiore a 110 decibel, misurata a mezzo metro di distanza e a 45 gradi dagli scarichi, e deve essere in grado di bloccare in frenata tutte e quattro le ruote. Preoccupa soprattutto la prova rumore. Infatti solo pochi giorni prima della gara la vettura aveva una rumorosità superiore ai limiti consentiti ma, grazie all'aiuto nelle misure fonometriche da parte degli ingegneri Francesco Leccese e Giacomo Salvadori, è stato possibile abbassare la rumorosità fino a 105 decibel apportando delle modifiche ai tubi di scarico. Anche questa è fatta!



Foto di Massimo Gugliani

*La monoposto effettua il rifornimento di benzina prima di iniziare la serie di prove su pista.*



La ET1 viene sottoposta al Tilt Test: la macchina viene inclinata fino a 60 gradi per verificare che non perda liquidi e che non si ribalti.

**Lunedì 22 settembre.** Finalmente si gareggia. La squadra è stata ammessa a partecipare alle quattro gare dinamiche in programma: accelerazione, *skid pad* (un otto da percorrere due volte), autocross, e infine la prova più difficile, quella di durata (*Endurance*) e di consumo.

Per ogni prova vengono attribuiti dei punti che si vanno a sommare a quelli ottenuti il giorno prima nelle presentazioni e che alla fine determineranno il vincitore.

Ma la giornata inizia in modo storto. Prima arrivano i voti delle prove di presentazione, che penalizzano fortemente la squadra pisana soprattutto per quanto riguarda l'analisi dei costi che si rivelerà uno dei punti più deboli: la squadra ottiene pochissimi punti pur avendo dichiarato un costo complessivo della vettura contenuto nei limiti previsti dal regolamento. La decisione dei giudici suona ancora più beffarda se si osservano le altre vetture presenti in pista, assai raffinate e curate nei minimi dettagli. Come è possibile che siano costate meno della ET1? Massimo Guiggiani, *Faculty Advisor* e Presidente del Corso di laurea specialistica in Ingegneria dei Veicoli, esprime tutto il proprio disappunto rispetto alla decisione dei giudici. "La squadra è stata molto onesta, ha dichiarato ogni spesa sostenuta; sembra incredibile che altre squadre, pur avendo presentato macchine costosissime abbiano potuto dimostrare che costassero meno della nostra. I ragazzi hanno affrontato questa gara con gran-

de lealtà e correttezza, non meritavano un trattamento del genere". Forse i ragazzi scontano l'inesperienza e del resto, dietro le quinte, un giudice americano ci rivela che, per evitare frodi da parte dei team più esperti, dall'anno prossimo saranno introdotti sistemi di controllo più efficaci che renderanno impossibile truccare i costi.

Superata l'amarazza, i ragazzi cominciano ad assaporare il gusto della competizione e si apprestano ad affrontare la prova di accelerazione. Ma subito dopo il primo test si rompono i due puntoni di sostegno del differenziale. Risultato: la prova non può essere completata e si deve rinunciare allo *skid pad* ma, soprat-

tutto, bisogna concentrare tutti gli sforzi per riparare il danno e poter affrontare la prova di *endurance*.

Dopo due ore di intenso lavoro al box la monoposto è di nuovo in pista, pronta ad affrontare l'autocross, ovvero un giro di pista con slalom fra i birilli, della durata di circa un minuto.

Subito dopo si parte con la prova di resistenza, quella che serve a valutare l'affidabilità della vettura: bisogna percorrere 22 km in pista, con cambio del pilota a metà gara e controllo dei limiti di consumo.

La gara inizia alle 15 e cominciano a sfidarsi cinque team per volta. È un disastro: molte auto si rompono, finiscono fuori pista, escono uno dopo l'altro anche team blasonati.

L'ET1 entra in pista con l'ultimo gruppo e riesce nell'impresa: porta a conclusione l'intero percorso senza guasti. Sono solo tre su dieci le squadre italiane che ci riescono.

Finalmente la tensione si scioglie e iniziano i festeggiamenti insieme a tutti gli altri team che si radunano al centro della pista. Francesco Castellana, team leader, non riesce a contenere la soddisfazione e ringrazia tutti i ragazzi per questo importante traguardo raggiunto.

L'edizione 2008 viene vinta dal team dell'Università di Stoccarda, la seconda classificata è la squadra del Politecnico di Torino e la terza Graz. "Non è un caso che fra le squadre migliori vi siano le tedesche" – afferma il preside di Ingegneria Emilio Vitale, giunto a Fiorano



Al box il team davanti ai giudici viene sottoposto alla prova di analisi dei costi e di presentazione del progetto tecnico.



Foto di Antonella Magliocchi

insieme con altri docenti della facoltà per sostenere la squadra. “Nelle città sedi di grandi case automobilistiche, come Stoccarda con la Mercedes, Graz con l’Audi e Torino con la Fiat, ci sono anche finanziamenti adeguati, necessari per realizzare dei progetti validi. Noi abbiamo avuto tanti piccoli sponsor, che voglio ancora ringraziare per il sostegno, ma è necessario per il futuro contare su un grande sponsor. Inoltre, per crescere e migliorare, è importante avere maggiori occasioni di confronto con gli altri team e per questo, come Presidente della ATA Toscana, ho proposto di organizzare una sorta di gara nazionale che possa servire da palestra che aiuti i nostri team ad essere più competitivi a livello internazionale”.

Anche Massimo Guiggiani manifesta

tutto il suo entusiasmo: “Sono molto soddisfatto della prova complessiva della squadra, che ha dimostrato grande carattere, una straordinaria capacità di affrontare e risolvere i problemi e soprattutto grande compattezza e spirito di squadra. Se pensiamo che di norma le squadre che partecipano alla prima edizione presentano solo un progetto teorico, che poi viene realizzato solo l’anno successivo, possiamo essere davvero soddisfatti di essere stati in grado di presentare una vettura subito competitiva.”

La Formula SAE 2008 chiude il sipario. Mentre ci si prepara a tornare a Pisa la testa è già all’edizione dell’anno prossimo.

**Antonella Magliocchi**

a.magliocchi@adm.unipi.it



Foto di Antonella Magliocchi

La ET1 in pista per la prova di Endurance.

## Chi sono e cosa fanno i membri dell’ETeam Squadra Corse

Francesco Castellana, neolaureato in Ingegneria dei Veicoli, team leader; Silvia Alonzo del Master in Comunicazione pubblica e politica, responsabile comunicazione; Riccardo Bartolozzi, dottorando di Veicoli, responsabile sospensioni; Gabriele Melani e Lapo Mori, dottorandi di Meccanica, responsabili progetto telaio; Andrea Colangiulo, studente della specialistica in Gestionale, responsabile pianificazione e marketing; Andrea Lazzeri, dottorando di Elettronica e Francesco Lenzi, dottorando di Veicoli, responsabili elettronica; Giovanni Lutzemberger, dottorando di Veicoli, responsabile impianto elettrico; Alessio Simi, dottorando di Veicoli, responsabile motore; Antonio Sponziello, PhD di Veicoli, responsabile dinamica.

E poi, in ordine alfabetico, Walter Bachi, studente di Elettrica; Massimo Baldacci, laurea in Veicoli; Andrea Barbetti, studente di Meccanica; Marco Bartoli, laurea in Veicoli; Lorenzo Bassi Luciani, laurea in Veicoli; Alessandro Bianchi, studente di Gestionale; Simonetta Boria, dottoranda di Veicoli; Daniele Ciomei, laurea in Veicoli; Stefano Cristofanelli, laurea specialistica in Meccanica; Sebastiano Dallari, laurea in Elettrica; Flavio Della Nina, Laurea in Veicoli; Jacopo Fantoni, studente di Meccanica; Andrea Ferri, studente di Meccanica; Alessandro Giovannini, studente della specialistica in Elettronica; Massimiliano Pastore, studente di Meccanica; Emanuele Pellegrini, studente di Veicoli; Valerio Rossi, laurea in Meccanica; Luca Sciurti e Lorenzo Varelli studenti di Meccanica.

E, infine, i piloti Mario Bertolotti, studente di Meccanica e Daniele Siano, studente di Veicoli. (am)

Athenet *on-line*: [www.unipi.it/athenet](http://www.unipi.it/athenet)



---

*Chiuso in redazione a dicembre 2008*  
*Stampato dal Centro tipografico dell'Università di Pisa*