

CERN: il contributo svizzero ad LHC.

1 Introduzione

Il Large Hadron Collider (LHC), insieme ai suoi quattro rivelatori ALICE, ATLAS, CMS e LHCb, rappresenta il più grande e potente microscopio mai costruito. Facendo collidere particelle a energie del tera-elettronvolt (TeV) permetterà di studiare la fisica delle piccole distanze (circa un milionesimo del diametro di un atomo). Il cammino dalla scala dell'elettronvolt a quella del tera-elettronvolt conduce dalla chimica e dall'elettronica dello stato solido (elettronvolt, eV) attraverso le reazioni nucleari (mega elettronvolt, MeV) fino alle regioni investigate dai fisici delle particelle nel corso degli ultimi 50 anni (giga-elettronvolt, GeV). Nella nuova frontiera del tera elettronvolt, i ricercatori sperano di aprire una nuova finestra per l'osservazione di fenomeni fisici del tutto nuovi. Esempi sono la ricerca del bosone di Higgs (una particella ritenuta capace di dare massa a tutte le altre particelle elementari), non osservabile con gli strumenti fino ad ora disponibili, oppure le misteriose particelle che si suppone costituiscano la materia oscura, che a sua volta costituisce la maggior parte della materia nell'universo.

Negli ultimi 15 anni, l'LHC è stato progettato, sviluppato e costruito da fisici e ingegneri di tutto il mondo. Per evitare costi eccessivi, è stato installato nel tunnel che ospitava il precedente acceleratore del CERN, il Large Electron Positron collider (LEP): questo tunnel circolare, con un diametro di 8.6 chilometri e una circonferenza di 27 chilometri, si trova a una profondità variabile tra i 50 e i 175 metri, nella regione tra l'aeroporto di Ginevra e le montagne del Jura. Il nuovo LHC inizierà a breve ad essere operativo. L'obiettivo di osservare collisioni protone-protone a 14 TeV dovrebbe essere raggiunto nel 2009.

Per identificare e studiare in dettaglio le nuove particelle elementari emergenti da queste collisioni, consorzi internazionali (collaborazioni) di fisici delle particelle hanno progettato, sviluppato, costruito e commissionato quattro grandi rivelatori. Questi rivelatori possono portare a nuove conoscenze nella fisica delle particelle, fornendo una più profonda comprensione della struttura della materia e della natura delle forze fondamentali.

La Svizzera ha contribuito in modo sostanziale a tre di questi rivelatori e nei prossimi 10 anni assumerà la responsabilità di una parte altrettanto significativa della fase operativa e di mantenimento. Un'altra importante

sfida sarà quella di analizzare la grande quantità di dati prodotti dai rivelatori. Le università svizzere, gli Istituti Federali di Tecnologia e il Paul Scherrer Institute PSI sono ben preparate per questo compito di analisi dati.

Questo foglio informativo è pensato per fornire una breve panoramica di LHC e della sua fase operativa (Sezioni 2,3,4,5), con particolare attenzione ai contributi svizzeri ai tre rivelatori -o esperimenti- (Sezione 6) e al CERN (Sezione 7).

2 L'acceleratore LHC

Con i suoi fasci di particelle collidenti, l'LHC supera nelle sue caratteristiche di base tutti i precedenti acceleratori di particelle nel mondo. I due fasci di protoni, che possiedono la più grande energia mai prodotta in un laboratorio, saranno mantenuti nelle loro orbite da più di 9000 magneti, la maggior parte superconduttori. Per produrre queste proprietà superconduttrici, i magneti devono essere raffreddati da elio superfluido a una temperatura appena al di sotto di 2 K (-271.2 °C). Essi possono poi condurre la corrente elettrica necessaria per creare potenti campi magnetici senza resistenza o perdita di energia. I fasci di protoni circolano in direzioni opposte in due tubi separati arrangiati in una struttura comune di magneti, e viaggiano nell'anello di 27 chilometri al 99.9999991% della velocità della luce. Ciascun protone ha un'energia cinetica di 7 TeV - ossia 7000 volte maggiore della sua massa a riposo (e sette volte maggiore di quanto possa essere raggiunto nell'acceleratore ad energia attualmente più alta, il Tevatron a Fermilab negli Stati Uniti). Quando il sistema opererà a piena capacità, l'energia totale della particelle circolanti sarà di 362 megajoules (MJ) per fascio, approssimativamente equivalente all'energia cinetica di un treno merci pesantemente carico che viaggia a tutta velocità.

Ciascun fascio di protoni consiste di 2808 pacchetti, distanziati con regolarità lungo l'anello di 27 chilometri. Ciascun pacchetto è aghiforme, lungo qualche centimetro e contiene circa 100 miliardi di protoni. In prossimità dei quattro rivelatori posizionati lungo l'anello, i pacchetti sono assottigliati fino a 16 micron di diametro (il diametro di un capello umano). Al centro dei rivelatori, i pacchetti si incrociano, producendo più di 600 miliardi di collisioni protoniche per secondo. Le collisioni coinvolgono in realtà i costituenti fondamentali dei protoni - quark e gluoni. Sono proprio gli eventi generati da queste collisioni che si vuole studiare in dettaglio.

Dati la difficoltà ingegneristica, la complessità dell'intero sistema e il gran numero di fornitori e collaborazioni accademiche coinvolte, non sorprende che il processo di costruzione abbia subito ritardi dovuti a una serie di problemi tecnici. Ad ogni modo, nel complesso ingegneri e scienziati sono estremamente soddisfatti della crescita del progetto. Il capo progetto di LHC Lyn Evans ha commentato: "Per una macchina di questa complessità,

le cose stanno andando piuttosto agevolmente”.

3 I rivelatori

Quattro enormi rivelatori, ATLAS, CMS, LHCb e ALICE, sono stati installati attorno ai punti di collisione; il più grande sarebbe in grado di riempire metà della Cattedrale di Notre Dame a Parigi, mentre il più pesante contiene più ferro della Torre Eiffel. Questi rivelatori tracciano e misureranno le varie particelle elementari prodotte nelle collisioni. Per far sì che le traiettorie delle particelle possano essere tracciate con precisione, i componenti del rivelatore devono essere posizionati con una precisione di 50 micron. I 100 milioni di canali di elettronica per l'acquisizione dati riempirebbero 100000 CD al secondo. Poiché non è possibile registrare una simile mole di dati, ogni rivelatore dispone di un sistema di selezione a più livelli (il cosiddetto trigger), che agisce come un filtro anti-spam in larga scala, capace di inviare al sistema centrale di computer di CERN solo i dati dalle poche centinaia di eventi al secondo che sembrano maggiormente interessanti. Solo questi sono ritenuti per l'immagazzinamento e la distribuzione alla rete computazionale mondiale per una successiva analisi. Software sofisticati permettono di analizzare le tracce delle particelle di questi eventi e di calcolare quindi le variabili di interesse (momento, massa, traiettoria, etc) delle particelle generate e delle loro particelle elementari genitrici.

Il compito che deve essere assolto dai rivelatori e dal sistema di processamento dati è enorme: a piena luminosità, ci si aspetta che avvengano circa 20 reazioni (collisioni) protone-protone per ciascun incrocio dei pacchetti di protoni, mentre i due pacchetti seguenti si incroceranno solo 25 nanosecondi più tardi. Questo significa che particelle dalle collisioni del primo incrocio saranno ancora in moto nei piani esterni del rivelatore al momento dell'incrocio successivo. Di conseguenza, i rivelatori sono progettati a strati (come una cipolla), con un numero di piani differenti (sotto-rivelatori) dedicati a specifici tipi di particelle o metodi di misura.

I rivelatori sono stati costruiti da consorzi internazionali di dipartimenti universitari e laboratori di ricerca, detti collaborazioni. Esse hanno sostenuto il progetto con l'attività intellettuale, nonché lo sviluppo, la costruzione e la consegna di componenti del rivelatore. In alcuni casi, l'hardware è stato realizzato nelle officine degli istituti stessi, mentre altre volte è stato prodotto da industrie. Le collaborazioni per i due grandi rivelatori CMS e ATLAS comprende circa 170 istituzioni, mentre circa 50 sono coinvolte nelle collaborazioni di LHCb e ALICE. I partecipanti svizzeri hanno giocato un ruolo chiave in queste collaborazioni; il loro contributo verrà discusso in Sezione 6.

4 Processamento dei dati

In un cluster di qualche migliaio di computer al CERN (Tier 0), i raw data filtrati provenienti dai rivelatori sono convertiti in dataset compatti, strutturati in modo tale da permettere l'analisi fisica. L'analisi dati è effettuata usando il Grid, che consiste di decine di migliaia di computer in istituti di tutto il mondo (Tier 2), tutti connessi per mezzo di una dozzina di nodi (Tier 1) ai maggiori centri di ricerca in tre continenti. I nodi sono collegati al CERN per mezzo di dedicati cavi a fibre ottiche. Per garantire la sicurezza dei dati, i raw data sono archiviati in nastri magnetici sia al CERN che ai centri Tier 1. Al giorno d'oggi, questo è considerato il metodo più sicuro ed efficace.

I sistemi di registrazione e processamento dei dati sono stati testati prima dell'avviamento di LHC: poiché i rivelatori sono in grado di rivelare anche le particelle elementari costantemente prodotte dai raggi cosmici, queste ultime sono state usate per testare i sistemi di registrazione dei dati e il software di analisi.

5 Obiettivi scientifici di LHC

Si ritiene che l'esplorazione del microcosmo nella regione del tera-elettronvolt possa condurre a nuove conoscenze nel campo della fisica delle particelle, il che influenzerà sicuramente anche altre aree associate della scienza. I fisici ritengono che questo nuovo mondo rivelerà come le forze fondamentali della natura - gravitazione, forza nucleare forte e forza elettrodebole - siano connesse, e come esse si differenzino l'una dall'altra. Questo dovrebbe gettare nuova luce su domande fondamentali, in particolare sull'interrogativo "qual'è l'origine delle forze fondamentali e perché esse acquistano forme differenti?".

In questo contesto, la ricerca del bosone di Higgs è solamente il primo passo. In aggiunta, potrebbero essere scoperti fenomeni che spieghino perché la gravitazione sia molto più debole rispetto alle altre forze fondamentali e rivelino la natura della materia oscura che pervade il nostro universo.

Al giorno d'oggi, i fisici lavorano sulla base del Modello Standard, che è stato sviluppato negli anni 1970 e 1980 ed è stato fortemente consolidato da esperimenti negli ultimi 20 anni. Tuttavia il quadro teorico fornito da questo modello è incompleto e fallisce nello spiegare alcuni importanti fenomeni osservati. Uno dei principi di base del Modello Standard prevede che le sue equazioni per materia e antimateria siano quasi simmetriche. Tuttavia, il mondo è costituito quasi esclusivamente di materia - qual'è dunque l'origine di un'asimmetria così pronunciata?

Non è inoltre chiara l'origine delle masse delle particelle: negli ultimi decenni, nessun altro problema ha preoccupato i fisici delle particelle come quello della particella che prende il nome dal fisico teorico Peter Higgs, che

potrebbe dare una risposta alla domanda fondamentale di come le particelle elementari acquistino massa. Il bosone di Higgs deve il suo attuale prestigio al fatto che esso costituisce l'ultimo blocco portante del Modello Standard della fisica delle particelle che non sia stato ancora osservato sperimentalmente. Per questa ragione, la rivelazione del bosone di Higgs è uno degli obiettivi prioritari dell'LHC.

6 Contributi svizzeri allo sviluppo dei rivelatori all'LHC

Ricercatori da quattro università (Basilea, Berna, Ginevra, Zurigo), dai due Istituti Federali di Tecnologia (EPFL e ETHZ) e dal Paul Scherrer Institute (PSI) hanno preso parte alle collaborazioni (consorzi scientifici internazionali) e contribuito allo sviluppo dei rivelatori all'LHC. Parecchi dei ricercatori svizzeri coinvolti sono stati attivi fin dalla fase iniziale di preparazione iniziata circa 15 anni fa. La partecipazione in questi progetti rappresenta un importante elemento nel portafoglio delle istituzioni accademiche quali centri di ricerca e insegnamento universitario. Studenti di dottorato che in seguito assumeranno ruoli di spicco nella scienza, nell'industria e nella politica hanno l'opportunità di prendere parte alla costruzione e alla fase operativa di uno strumento di ricerca unico.

Il contributo scientifico svizzero a tre dei quattro rivelatori è schematizzato in Tabella 1¹. Tale contributo comprende l'input intellettuale e tecnico dei gruppi di ricerca coinvolti, il software e l'hardware sviluppato negli istituti stessi, e i componenti prodotti dall'industria. Questa cooperazione ha dato vita a uno scambio creativo di conoscenza tra i partecipanti al progetto e le istituzioni di ricerca e educazionali, che porterà sicuramente alla creazione di valore a lungo termine. Industria e ricerca hanno mostrato creatività e ingegnosità, in particolare quando soluzioni tecnologiche e ingegneristiche innovative erano richieste per raggiungere la massima accuratezza ed efficienza per la rivelazione delle particelle. Inoltre la conoscenza unica acquisita nel processo può ora essere reiventata in altri progetti e prodotti, giovando dunque all'economia nel suo complesso.

Vale inoltre la pena di ricordare il ruolo attivo giocato dalle istituzioni svizzere nei preparativi per l'analisi dati, e nel centro di computing svizzero (Tier 2) richiesto per la valutazione dei risultati. Iniziato in uno sforzo collettivo da tutte le istituzioni partecipanti sotto l'ombrello dell'Istituto Svizzero per la Fisica delle Particelle (CHIPP, www.chipp.ch), il centro è situato al Centro Nazionale Svizzero di Supercomputing (CSCS) a Manno (Canton Ticino).

¹Nessuno gruppo svizzero è coinvolto nel quarto esperimento (ALICE), che si occupa di fisica di ioni pesanti

Rivelatore	Numero di istituzioni coinvolte nel mondo	Istituzioni svizzere coinvolte	Contributo svizzero a sviluppo e costruzione dei rivelatori
ATLAS	169	Università di Berna, Università di Ginevra	Tracciamento con strip al silicio, elettronica di readout del calorimetro, high-level trigger, acquisizione dati, event building, sistema di registrazione dati, rivestimenti delle spire, cavi superconduttori
CMS	183	Università di Basilea, ETHZ, PSI, Università di Zurigo	Rivelatore a pixel, rivelatore a strip al silicio, cristalli, fotosensori ed elettronica di readout per il calorimetro elettromagnetico, superconduttore per il solenoide da 4 Tesla, conseguimento dei magneti
LHCb	51	EPFL, Università di Zurigo	Rivelatore a strip al silicio, schede di readout per i sottorivelatori, collegamenti per il readout del rivelatore di vertici, trigger

Table 1: Contributo svizzero ai tre rivelatori all’LHC. I contributi di hardware dei gruppi di ricerca svizzeri non mostrati nella colonna di destra.

I fisici svizzeri giocano inoltre ruoli molto attivi nella coordinazione dei progetti. Sono coinvolti nella gestione delle collaborazioni a tutti i livelli dell'organizzazione.

Il primo Gennaio 2006 il numero di fisici impiegati a tempo pieno (FTE) dalle istituzioni svizzere per lavorare nelle collaborazioni ammontava a 21 per ATLAS, 38 per CMS e 25 per LHCb. Inoltre 7 studenti di dottorato di università svizzere erano coinvolti in ATLAS, 13 in CMS e 11 in LHCb. Dal 1996 al 2008 è stato redatto un totale di 70 tesi di diploma e 55 tesi di dottorato in connessione con lo sviluppo e la costruzione dei rivelatori all'LHC. Sono state redatte inoltre 5 tesi di dottorato dedicate alla fisica dell'acceleratore LHC.

La somma complessiva degli investimenti nei rivelatori all'LHC nel periodo tra il 1996 e il 2008 da parte di fonti di finanziamento svizzere ammonta a 130 MCHF, corrispondente a circa il 9% del costo totale dei tre rivelatori.

6.1 Contributi svizzeri alla costruzione di ATLAS

L'esperimento ATLAS è progettato per identificare e misurare in modo ottimale l'energia e la direzione di fotoni, leptoni carichi e altre particelle cariche e neutre con grande precisione e in un ambiente ad alta densità di tracce. Quale sistema a scopo generale, è progettato per rivelare il maggior numero possibile di signature di fisica.

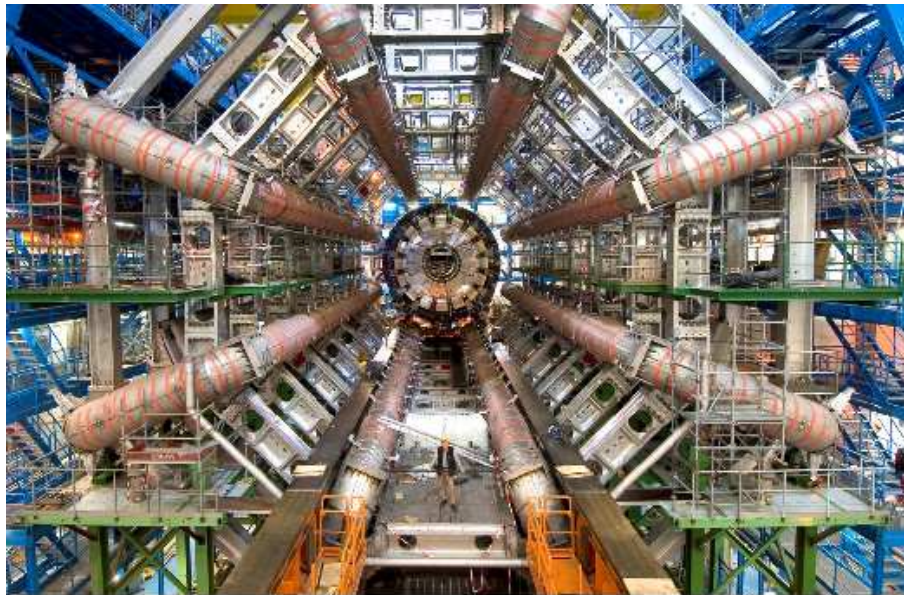


Figure 1: Foto del rivelatore ATLAS all'LHC prima dell'inserimento dei sottorivelatori. Gli otto tubi disposti in modo simmetrico contengono spire superconduttrici, che generano l'intenso campo magnetico toroidale.

Un'immagine del rivelatore durante la fase di costruzione è mostrata in Figura 1. La sua dimensione è impressionante: riempirebbe metà della Cattedrale di Notre Dame a Parigi (si veda la dimensione di un essere umano nella Figura 1).

Il rivelatore contiene un tracciatore interno di 7 m di lunghezza, costituito da una combinazione di pixel semiconduttori ed elementi a micro-strip circondati da un tracciatore a tubi proporzionali capaci di rivelare la radiazione di transizione. I calorimetri elettromagnetici e adronici, ad alta granularità, ermeticità e tolleranza alla radiazione, forniscono eccellenti prestazioni per la misura di energia, fino ad una distanza di un grado dalla linea del fascio. I calorimetri sono circondati da uno spettrometro a muoni, che fa uso di un grande sistema toroidale di anelli magnetici in aria che garantisce un elevato campo magnetico e definisce la dimensione complessiva dell'esperimento.

Il sistema di magneti è basato su un sottile solenoide superconduttore interno che circonda la cavità del tracciatore interno e su grandi toroidi superconduttori nel barrel che consistono in otto anelli indipendenti posizionati fuori dai calorimetri.

Sono coinvolti i seguenti istituti:

- Università di Berna: Prof. A. Ereditato, Prof. K. Pretzl (fino al 2006)
- Università di Ginevra: Prof. A. Blondel, Prof. A. Clark, Prof. M. Pohl

Grandi contratti industriali e di servizio (>0.2 MCHF) sono stati stanziati con le seguenti compagnie svizzere per un valore totale di 13.7 MCHF: Alcatel Cables Suisse, Asea Brown Boveri Switzerland, Cicorel SA, Dell Switzerland, EBV Elektronik, Hamamatsu Photonics, SUN Microsystems (in ordine alfabetico).

Gli istituti sopra menzionati hanno contribuito ad ATLAS come segue (si veda la Figura 2):

- Sistema di magneti:
U.BE + U.GE: responsabilità nel conseguimento dei cavi superconduttori e dei rivestimenti di alluminio delle spire;
- Tracciatore al silicio:
U.GE: struttura di supporto per il tracciatore al silicio: progetto, prototipo, conseguimento e installazione di quattro supporti a fibre di carbone ad alta precisione per il barrel, loro consegna per l'assemblaggio del modulo, nonché coordinazione dell'ingegneria del barrel;
U.GE: responsabilità per il meccanismo del tracciatore al silicio per il tracciatore interno;
U.GE: readout del tracciatore al silicio: progetto, prototipo, conseguimento e test dei sensori a silicio;
U.GE: partecipazione nella progettazione di microelettronica, prototipo,

conseguimento e test del chip di readout di front end;
 U.GE: moduli del tracciatore a silicio: progetto e prototipo dei moduli, assemblaggio e test di 657 moduli (in collaborazione con Cracovia, Praga e CERN, dove sono stati effettuati test dei componenti e studi di burn-in).

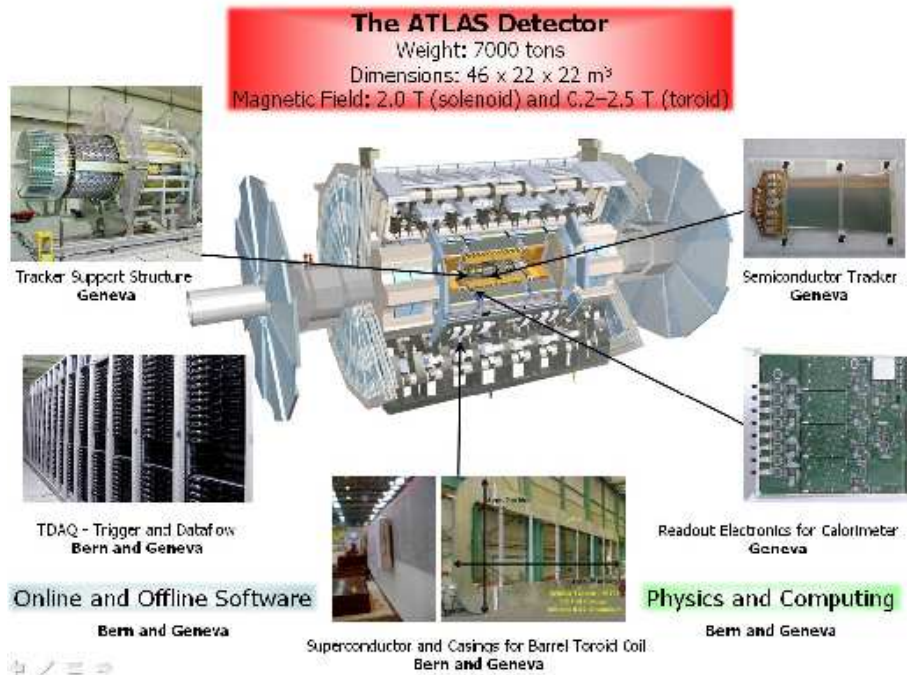


Figure 2: Schema del rivelatore ATLAS e dei vari contributi svizzeri.

- Calorimetro ad Argon liquido:
 U.GE: progetto, costruzione, test e integrazione di un totale di 245 drivers di readout per i moduli ROD del calorimetro ad argon liquido.
- High level trigger e sistema di acquisizione dati:
 U.BE: progetto, implementazione, integrazione e commissionamento di event-building, event data routing, sistema di registrazione dei dati;
 U.BE + U.GE: progetto e implementazione del software di high level trigger steering, misure di tempo per gli algoritmi, preparazione dei dati.

La spesa svizzera totale per ATLAS (R&D e costruzione) nel periodo 1996-2008 ammonta a 13.6 MCHF², di cui il 77% dal SNF e il 23% da

²Più un contributo del CERN di 8.8 MCHF in seguito a una donazione del Cantone di Ginevra al CERN (si veda la Sezione 7).

Cantoni (GE, BE)/Università. Durante lo sviluppo di ATLAS, sono state redatte 9 dissertazioni di diploma, nonché 17 tesi di dottorato. Grazie allo sviluppo della tecnologia, 4 spin-off sono stati realizzati dalle persone che lavorano sul progetto ATLAS nelle due Università.

6.2 Contributi svizzeri alla costruzione di CMS

CMS è progettato per misurare energia e momento di fotoni, elettroni, muoni e altre particelle cariche con alta precisione, fornendo un'eccellente risoluzione in massa per particelle che decadono in questi stati finali. CMS consiste in un potente sistema di tracciamento interno basato su tecnologia a silicio (microstrip e pixel), un calorimetro ad alta precisione (cristalli di scintillatore piombo/tungstato) seguito da un calorimetro adronico a sampling realizzato con scintillatori plastici a tile inseriti tra fogli assorbitori di ottone, e un solenoide superconduttore ad alto campo magnetico (4 Tesla) accoppiato con un sistema di muoni a molti piani.

CMS contiene più ferro della Torre Eiffel, e la discesa degli elementi del rivelatore nella cavità sotterranea (impegnative operazioni di sollevamento/abbassamento) è stata una delle operazioni di gru più complesse mai intraprese in fisica delle particelle. Questa operazione è stata eseguita senza problemi anche per l'elemento più pesante, la ruota del barrel centrale da 2000 tonnellate.

Il dispositivo di tracciamento più interno dell'esperimento CMS, il rivelatore a pixel, è composto di 1440 moduli organizzati in tre piani nel barrel. Il calorimetro elettromagnetico ad alta precisione contiene circa 76000 cristalli piombo-tungstato (peso totale: approssimativamente 80 tonnellate) prodotti in Russia (72000 cristalli) e Cina (4000 cristalli). Si veda la Figura 3.

I seguenti istituti e compagnie industriali sono involte in CMS:

- ETH Zurigo: Prof. G. Dissertori, Prof. R. Eichler (fino al 2007), Prof. C. Grab, Prof. H. Hofer (fino al 2001), Prof. U. Langenegger, Prof. F. Pauss
- Paul Scherrer Institute (PSI): Prof. R. Horisberger, Dr. Q. Ingram, Dr. D. Renker
- Università di Zurigo: Prof. C. Amsler
- Università di Basilea: Prof. L. Tauscher (fino al 2004)

Grandi contratti industriali e di servizio (>0.2 MCHF) sono stati stanziati con le seguenti compagnie svizzere per un valore totale di 11 MCHF: Alcatel Cables Suisse SA, Ascom Schweiz AG, Brugg Kabel AG, GS Präzisions AG, Hamamatsu Photonics, Hightec Lenzburg, Marti Supratec AG, VSL Schweiz AG (in ordine alfabetico).

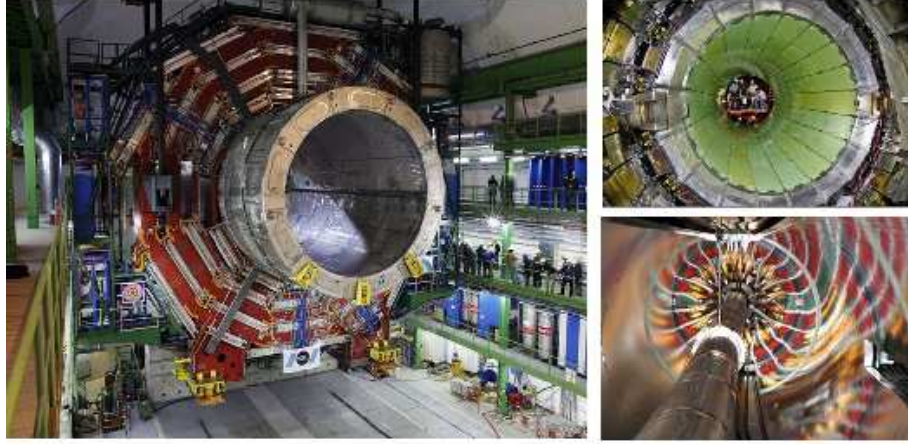


Figure 3: Il rivelatore CMS all'LHC. A sinistra: l'elemento più pesante, quello centrale, viene calato nella caverna di CMS, 100 metri sotto terra. In alto a destra: completamento dell'installazione del calorimetro a cristalli del barrel nel Luglio 2007. In basso a destra: completamento dell'installazione del rivelatore a pixel nel Luglio 2008.

I gruppi svizzeri sono stati coinvolti nella progettazione e nella valutazione fisica fin dalla fase iniziale di CMS e hanno contribuito come segue (si veda la Figura 4):

- Centro di ingegneria e integrazione (EIC) di CMS al CERN:
ETHZ: leader del CMS EIC al CERN dove viene coordinata e controllata la produzione di vari componenti del rivelatore da parte di differenti nazioni;
- Calorimetro a cristallo:
ETHZ: conseguimento e valutazione delle prestazioni (incluso test di irraggiamento) dei 76000 cristalli;
EHTZ e PSI: progetto, conseguimento, test dei componenti di elettronica e integrazione dell'elettronica di readout, inclusa la responsabilità per il software;
PSI: produzione, consegna e schermaggio dei 140000 APD (Avalanche Photo Diodes) per i cristalli del barrel; ci si aspetta un'affidabilità del 99.9% per 10 anni di operazioni all'LHC;
- Rivelatore a pixel del barrel:
PSI, ETHZ: progetto, costruzione e commissionamento, ivi incluso progetto e sviluppo del sensore a pixel, dei moduli di rivelazione e del chip di readout;
U.ZH: costruzione del supporto per il rivelatore a pixel del barrel, della sua struttura di raffreddamento e del tubo di alimentazione contenente i collegamenti ottici per il controllo e il readout; sviluppo di

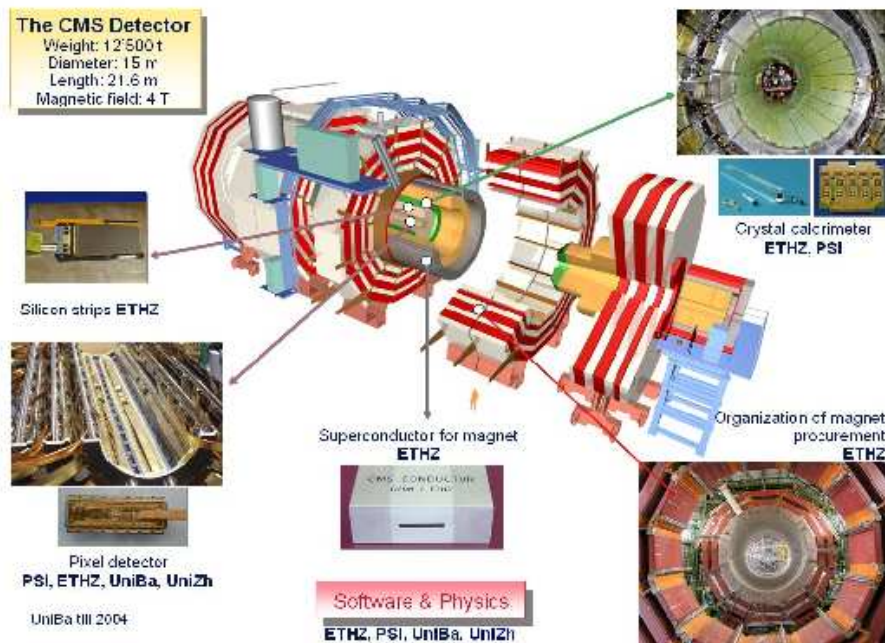


Figure 4: Schema del rivelatore CMS e dei vari contributi svizzeri.

parti critiche del software per la ricostruzione delle traiettorie delle particelle;

- Spire superconduttrici del magnete:
 ETHZ: responsabilità di primo piano nella fabbricazione del cavo superconduttore, e in grand parte nel progetto e conseguimento del magnete.

La spesa svizzera totale per CMS (R&D e costruzione) nel periodo 1996-2008 ammonta a 107 MCHF, di cui il 18% dal SNF, meno dell'1% da Cantoni (ZH,BS)/Università, il 65% dall'ETH, e il 16% dalle Autorità Federali³. Durante questo periodo, sono state redatte 34 dissertazioni di diploma, nonché 19 tesi di dottorato. Grazie allo sviluppo della tecnologia, due spin-off sono stati realizzati dalle persone che lavorano sul progetto CMS nei 4 istituti di ricerca.

6.3 Contributi svizzeri alla costruzione di LHCb

LHCb è un esperimento di seconda generazione sulla fisica del quark b, che compirà misure sistematiche di processi con violazione di CP⁴ e di decadi-

³Non vi sono dettagli disponibili da parte dell'U. BS

⁴Simmetria tra particella e antiparticella.

menti rari in sistemi del mesone B, con precisione mai raggiunta e in svariati canali di decadimento dei mesoni contenenti quark b.

Il rivelatore è costituito da uno spettrometro frontale a singolo braccio, che fa uso di un grande dipolo magnetico (si vedano fotografia e vista laterale nelle Figure 5 e 6 rispettivamente).



Figure 5: Foto del rivelatore LHCb all'LHC. A sinistra: il magnete per lo spettrometro di LHCb. A destra: Installazione del rivelatore a strip di silicio “made in Zurigo”.

I seguenti istituti e compagnie industriali svizzere sono coinvolte in LHCb:

- EPFL (dal 2003; precedentemente: Università di Losanna): Prof. A. Bay, Prof. T. Nakada (Spokenperson fino al 2008; Physics Coordinator dal 2008), Prof. O. Schneider (Physics Coordinator fino al 2008)
- Università di Zurigo: Prof. U. Straumann

Grandi contratti industriali e di servizio (>0.2 MCHF) sono stati stanziati con le seguenti compagnie svizzere per un valore totale di 2.7 MCHF: EBV Elektronik, Hamamatsu Photonics, Mahr AG Schweiz (in ordine alfabetico).

Essi si sono concentrati su (si veda la Figura 6):

- sviluppo, costruzione e implementazione del Tracciatore a Silicio di LHCb:
EPFL: Tracciatore Interno (parte interna di T1, T2, T3);
U.ZH: Tracciatore per il trigger (TT);
- sistema comune dell'elettronica di readout per il Tracciatore a Silicio e per il rivelatore di Vertice VELO:
U.ZH: sviluppo, costruzione e commissionamento della parte sul rivelatore dell'elettronica di readout del Tracciatore a Silicio. La componente ottica digitale del trasferimento dei dati del sistema viene anche usata da quasi tutti gli altri sottomoduli di LHCb;

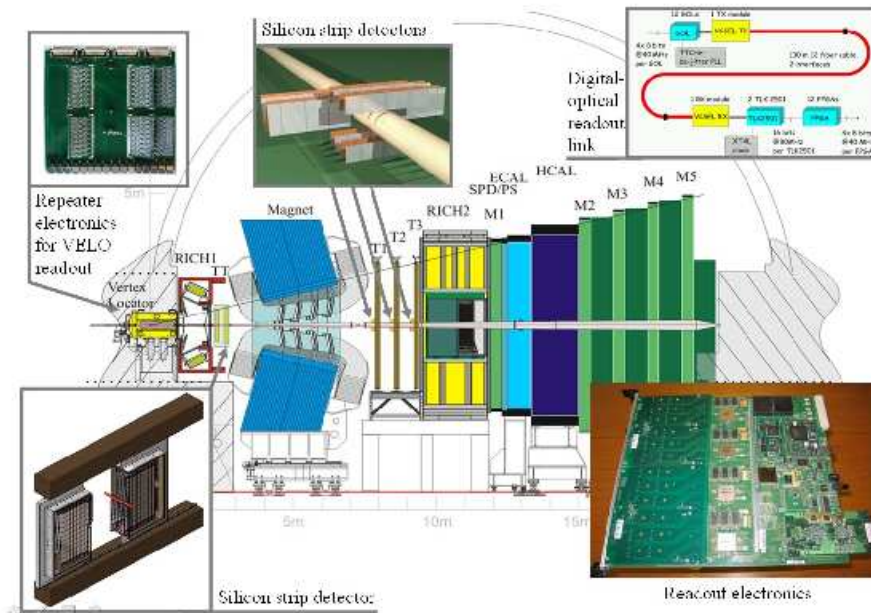


Figure 6: Schema laterale del rivelatore LHCb e dei vari contributi svizzeri.

EPFL: sviluppo di un sistema di elettronica di readout per il VELO e il Tracciatore a Silicio (TELL 1). È stato adottato da quasi tutti i sottorivelatori di LHCb.

La spesa svizzera totale per LHCb (R&D e costruzione) nel periodo 1996-2008 ammonta a 11 MCHF, di cui il 56% dal SNF, il 30% da Cantoni (VD, ZH)/Università, il 14% dall'ETH. Durante questo periodo, sono state redatte 27 dissertazioni di diploma, nonché 19 tesi di dottorato. Non sono stati realizzati spin-off.

7 Contributi della Svizzera quale stato ospitante il CERN e rendimenti industriali

Per molti anni, oltre al normale contributo di circa 30 MCHF per anno come stato membro (equivalente a circa il 3% del bilancio del CERN), quale stato ospitante la Svizzera ha fornito supporto diretto al CERN attraverso contributi speciali per un totale di più di 125 MCHF. Questi contributi speciali sottolineano la volontà politica che il CERN, quale laboratorio globale di fisica delle particelle, rimanga in Svizzera e che la sua notorietà aiuti a forgiare una nuova generazione di scienziati e tecnologi di questa nazione.

Contributi speciali includono, ad esempio, il pagamento anticipato dei contributi dovuti come stato membro per alleviare eventuali difficoltà di

tesoreria, il finanziamento di infrastrutture (quali stazioni di pompaggio dell'acqua), la concessione di una correzione addizionale all'inflazione, contributi a esperimenti scientifici, e un contributo speciale per la realizzazione della Strategia Europea per la Fisica delle Particelle. Il governo federale e il Cantone di Ginevra hanno inoltre contribuito congiuntamente a progetti infrastrutturali, quali una galleria che collega il pre-acceleratore e l'LHC.

Non inclusi nei contributi speciali sono i prestiti senza interessi per progetti di costruzione (appena al di sotto di 46 MCHF) e il Palais de l'Equilibre dall'Esibizione Nazionale Svizzera del 2002 (Expo.02), che la Svizzera ha donato al CERN (trasportato e riassembleato dall'esercito) in onore del cinquantesimo anniversario. La Tabella 2 fornisce un quadro generale dei contributi speciali degli ultimi 20 anni.

Contributi speciali LEP	8.1 MCHF
Stazione di pompaggio di Vengeron	4.0 MCHF
Interessi sui pagamenti anticipati dei contributi (1990-1992; 2007-2009)	27.0 MCHF
Correzione addizionale all'inflazione	11.2 MCHF
Esperimenti su neutrini al CNGS	1.5 MCHF
Test sul fascio per LHC al PSI	13.2 MCHF
Strategia Europea per la Fisica delle Particelle: contributi speciali	27.6 MCHF
Contributi speciali a LHC (galleria e ATLAS)	33.8 MCHF
<i>di cui dal Cantone di Ginevra</i>	<i>16.3 MCHF</i>
Totale dei contributi speciali	126.4 MCHF

Table 2: Contributi speciali negli ultimi 20 anni.

Ad ogni modo, la Svizzera quale stato ospitante ha anche beneficiato della presenza del CERN: in paragone al suo contributo al bilancio, la Svizzera contribuisce a una frazione relativamente grande del personale CERN - 7.4%. Oltre agli scienziati che lavorano al CERN quali impiegati o ricercatori ospiti, un gran numero di cittadini svizzeri ha trovato occupazione qualificata al CERN, in particolar modo in posizioni amministrative e tecniche. Il CERN offre inoltre più di 20 posti molto attraenti per l'apprendistato, di cui più dei tre quarti sono occupati da candidati svizzeri.

Le persone che lavorano al CERN rappresentano inoltre un fattore economico importante per la regione: vi vivono 2500 elementi del personale, i quali acquistano beni, servizi e, in molti casi, proprietà. Di conseguenza gran parte delle retribuzioni pagate fa ritorno in Svizzera. I più di 8000 scienziati da tutte le parti del mondo che vengono in visita al CERN per un certo periodo ogni anno contribuiscono al settore del turismo locale.

Ancora più ingente è la somma che la Svizzera riceve indietro sotto forma

di forniture industriali e contratti di servizio, una frazione relativamente grande dei quali viene assegnata dal CERN a compagnie svizzere - spesso per ragioni logistiche. Come esempio, la Tabella 3 mostra che i ritorni netti per gli ultimi 5 anni ammontano a più di 200 MCHF.

	2003	2004	2005	2006	2007	Total
Ritorni tramite contratti di fornitura	35.4	54.1	55.3	49.3	33.5	227.6
Ritorni tramite contratti di servizio	28.9	32.2	26.9	29.1	28.7	145.8
Totale	64.3	86.3	82.2	78.4	62.2	373.4
Contributo annuale svizzero	35.5	29.5	31.7	32.2	31.5	160.4
Ritorno netto	28.8	56.8	50.5	46.2	30.7	213.0

Table 3: Ritorni negli ultimi 5 anni.