



## Una cordata di collaborazioni

### Il gruppo di progetto

Per TIFPA - Laboratorio INFN di Trento  
Ignazio Lazzizzera  
Per FBK - Centro Materiali e Microsistemi  
Pierluigi Bellutti  
Per UniTrento - Dipartimento di fisica  
Stefano Oss  
Per MUSE - Museo delle Scienze  
Christian Lavarian  
Coordinatore per FBKJUNIOR "La ricerca come  
mestiere"  
Micaela Vettori

### Ringraziamenti

All'Associazione Festival della Scienza  
alla sua Presidente Manuela Arata, a Fulvia  
Mangili, Angelica Canevari, Paola Astrici, Ilenia  
Bornciani e Raffaella Denegri per il professionale  
e cordiale lavoro di squadra.  
Un grazie speciale a Graziano Fortuna, Massimo  
Gentili, Lorenzo Pavesi e Cinzia Paglia che hanno  
fortemente voluto la partecipazione di CORDATA  
all'edizione 2014 del Festival.

### Partner e sostenitori

Banca di Trento e Bolzano  
Marangoni meccanica  
SMART3K  
WinSport

### Gli Istituti di istruzione superiore

Liceo Classico "G. Prati", Trento  
Dirigente: Maria Pezzo  
Docenti guide: Paola Depedri, Alessandra Curcu

I.T.I. "M. Buonarroti", Trento  
Dirigente: Paolo Dalvit  
Docenti guide: Franco Giustini, Riccardo Lunelli,  
Giancarlo Comai, Marco Martinelli, Roberto  
Delbianco, Alberto Giraldi

Liceo Scientifico "G. Galilei", Trento  
Dirigente: Flavio Dalvit  
Docenti guide: Emanuela Antolini, Luigi  
Bazzanella

Liceo Classico e Scientifico "A. Rosmini", Rovereto  
Dirigente: Francesco De Pascale  
Docenti guide: Silva Filosi, Marco Chiochetti,  
Laura Conci

I.T.I. "G. Marconi", Rovereto  
Dirigente: Laura Zoller  
Docenti guide: Paolo Pancheri, Gabriele Amadori,  
Gianfranco Festi

Istituto d'Istruzione "A. Degasperi", Borgo  
Valsugana  
Dirigente: Paolo Pendenza  
Docenti guide: Monica Ropele, Paolo Bertolini,  
Valter Giosele, Walter Quaiatto

IPRASE, Trento  
Direttore: Luciano Covi. Esperti guide: Cristiana  
Bianchi, Antonia Romano



## La linea orizzontale CORDATA

di Micaela Vettori

Il progetto CORDATA è nato da un'idea di Ignazio Lazzizzera, ricercatore senior di INFN, ed è stato proposto alle scuole superiori del Trentino con FBKJUNIOR "La ricerca come mestiere". L'obiettivo: realizzare un innovativo, diretto e coinvolgente modo di affrontare la fisica delle astro-particelle e più in generale un approccio alla fisica allo stato dell'arte. Il nodo centrale: costruire una rete di ricercatori, docenti e studenti che possano misurare i flussi astro-particellari grazie ad una tecnologia innovativa realizzata dai Laboratori di Microfabbricazione di FBK. Grazie al Festival della Scienza di Genova, l'iniziale gruppo di progetto si è ampliato per rappresentare il Trentino e declinare con CORDATA il tema 2014 del Festival: il tempo. "Il tempo dilatato: ovvero l'incredibile viaggio dei

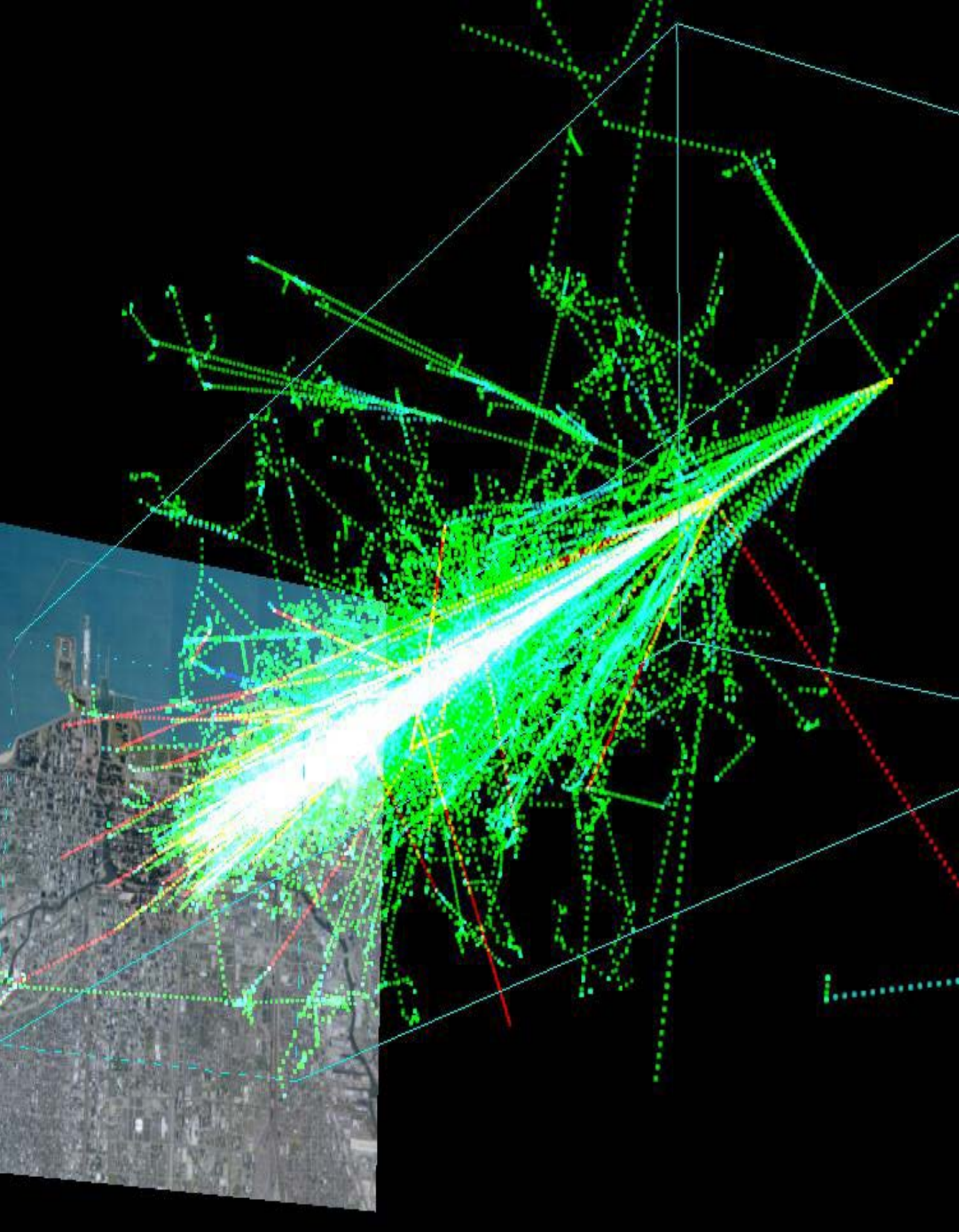
muoni cosmici" è narrato da CORDATA con diversi linguaggi, lungo un percorso che parte dalla tecnologia, sperimenta la scienza, si immerge nelle immagini e partecipa del linguaggio delle parole.

Il viaggio comincia con la visita virtuale full-immersion a 360° nel laboratorio Clean Room della Fondazione Bruno Kessler, attraverso le competenze integrate di alcune aree di ricerca del Centro Materiali e Microsistemi. La guida dei progettisti del dispositivo (Claudio Piemonte dell'unità di ricerca IRIS - Integrated Radiation and Image Sensors) e dei ricercatori che hanno prodotto il SIPM (di Pierluigi Bellutti e Maurizio Boscardin dell'unità MicroNano Facility); le tecnologie 3D full immersion (di Fabio Remondino dell'unità DOM - 3D Optical Metrology) e dello spin-off SMART3K (di Alessandro Rizzi); la capacità narrativa e registica della Comunicazione FBK (Marzia Lucianer, Barbara Gazzoli).

Un attore, in veste di guida, intrattiene e prepara il pubblico per il laboratorio sperimentale con i rilevatori di astro-particelle realizzati da INFN e TIFPA (Ignazio Lazzizzera e Flavio Del Corso) e la lezione di fisica del Dipartimento di Fisica di UniTrento (Stefano Oss). Ultima tappa sarà l'immersione nelle più belle immagini del cosmo, che anticipa la prossima esposizione del MUSE (curatore Roberto Battiston con Christian Lavarian).

I testi dell'attore guida sono preparati dalla compagnia Arditodesio, fondata dal fisico Andrea Brunello con la consulenza esperta nella didattica della scienza di Stefano Oss, del Dipartimento di Fisica di Unitn. A completare il pacchetto CORDATA, il debutto della nuova produzione teatrale dedicata al tema del tempo "TORNO INDIETRO E UCCIDO IL NONNO. Dove va il tempo che passa?".

CORDATA come viaggio disegna un'ideale linea orizzontale. Uno specialissimo treno dove ogni vagone è il contributo di uno dei partner che lo ha riempito delle sue conoscenze, delle sue tecnologie e delle sue sapienze interpretative. Come ogni treno CORDATA ha una destinazione: passione per la scienza. E perché i suoi viaggiatori la raggiungano, CORDATA utilizza diversi linguaggi e li dedica alle diverse età e alle varie estrazioni con un riguardo particolare per il futuro: le giovani generazioni. Pensando a loro vogliamo che siano esposti - coinvolti - partecipi in prima persona, alla ricerca più avanzata, alle conoscenze allo stato dell'arte, ai linguaggi più affascinanti, agli scienziati più illuminati, ad esperienze positive di aggregazione di persone e integrazione di saperi e competenze. Una linea orizzontale che ci faccia viaggiare insieme.



## Raggi e sciame cosmici, ovvero traversando inconsuete scale di tempo.

### Relatività

di Ignazio Lazzizzera

La terra è da sempre colpita da particelle cosmiche, il più delle volte protoni, provenienti ad altissime energie da stelle a noi vicine o galassie distanti e persino dal lontano spazio-temporale dei primi istanti dell'universo dopo la Grande Esplosione (o Big-Bang); pertanto essi possono essere elementi di processi coinvolti in scale temporali persino dell'ordine dell'età dell'universo. Un raggio cosmico primario, come appunto un protone, interagisce con i nuclei dell'atmosfera superiore della terra producendo raggi cosmici secondari, soprattutto pioni e kaoni, che a loro volta interagiscono con nuclei, producendo raggi cosmici terziari e così via a cascata in successive generazioni. Pioni e kaoni sono particelle più leggere dei nucleoni (protoni e neutroni), tuttavia soggette come questi alle forze nucleari. I pioni risultano essere particelle instabili, che decadono in muoni e neutrini: questi invece non sono soggetti alle forze nucleari e pertanto sono in grado di penetrare negli strati più bassi dell'atmosfera fino a raggiungere il livello del mare con una frequenza media di uno ogni minuto su un centimetro quadrato, pertanto tra cinquanta e sessanta al minuto sul palmo aperto di una mano di adulto.

Il muone non è particella stabile e decade in elettrone ed altro neutrino, così che al livello del mare in effetti complessivamente arrivano parcella elettricamente cariche che sono per il 70% muoni e 29% elettroni, con un piccolo residuo di altro. Elettroni e muoni cosmici viaggiano a velocità molto vicina a quella della luce.

I rivelatori di CORDATA consentono di

misurare la vita media di muoni che siano stati occasionalmente fermati da materia, rimanendo così in quiete rispetto agli orologi del laboratorio (o del rivelatore medesimo): trovano un valore intorno a 2 milionesimi di secondo, dunque sperimentando una scala temporale inconsueta rispetto ai tempi del vivere umano o ai tempi cosmici sopra citati. Misurando i flussi di muoni a diverse altitudini, per esempio al livello del mare e, per esempio, su una montagna di 2000 metri, non si rilevano apprezzabili differenze. Tuttavia, seppure si ipotizzasse che i muoni viaggiano alla velocità della luce (ma certamente la velocità dovrà essere inferiore), si troverebbe che essi non potrebbero percorrere molto più di 500 metri prima di decadere in elettroni, che molto meno improbabilmente dei muoni possono essere dispersi angularmente o fermati dagli atomi atmosferici: come questa sopravvivenza è possibile?! Qui entra in causa la relatività di Albert Einstein, in particolare l'effetto della dilatazione dei tempi.

Per un fisico un concetto è solitamente definito attraverso specifiche operazioni di misura. Sul tempo l'atteggiamento più modesto è probabilmente quello che parte dal considerare fatti concreti come il conteggio delle stagioni che si susseguono durante la nostra vita, o dei tramonti che si ripetono durante un lungo viaggio, o il notare le differenti posizioni del sole nel cielo durante una giornata di lavoro... Misura del tempo è confronto di durata di eventi. Sistemi come quello del susseguirsi delle stagioni e dei tramonti e delle posizioni del sole nel cielo suggeriscono la nozione di orologio. In accordo con Einstein possiamo definire orologio ogni sistema fisico che fornisca una sequenza numerabile di eventi. Tempo per un fisico è quanto si misura con orologi, scoprendo che si riscontrano differenze nella durata misurata di eventi a seconda che si usano orologi in quiete o in moto relativo rispetto ad essi. Esattamente su questa base è poggiata la relatività del tempo e la sua proprietà di dilatazione.

Il processo a cascata sopra descritto a partire da un raggio cosmico primario, genera in ultima analisi uno sciame di muoni che possono distribuirsi su superfici ampie fino al centinaio di chilometri quadrati al livello del mare. Poiché le velocità di propagazione sono prossime a quelle della luce, i muoni di uno sciame raggiungono il livello del mare tutti con simultaneità definita entro la decina di nanosecondi, cioè dieci miliardesimi di secondo: questo comporta l'esperienza di un'ulteriore scala temporale, sulla quale i rivelatori di CORDATA distribuiti sul territorio devono essere sincronizzati allo scopo di rilevare appunto sciame cosmici.



## La lunga storia (abbreviata) dei raggi cosmici

di Stefano Oss

Da poco più di un secolo (era il 1912, per l'esattezza, tempi di grandi scoperte ma ancora lontani dai risultati e dalle applicazioni della meccanica quantistica) i fisici sono alle prese con uno dei fenomeni più affascinanti e, per certi versi, fuggenti in molti suoi aspetti, della storia della scienza. Si tratta dei cosiddetti raggi cosmici, un nome che evoca subito immagini di sconfinata grandezza, e a ragione, visto che si tratta di una pioggia di energia (radiazione, particelle) che incessantemente investe tutto e tutti a partire da ogni regione del nostro universo. Cosa siano questi raggi, come si rivelino, da dove provengano sono domande alle quali si tenta di dare risposte le più definitive possibili per l'appunto da decenni di studi e ricerca, ma che lasciano ancora misteri da svelare. Le risposte a queste domande possono dare (e hanno già dato) supporto a questioni di ampia portata sull'origine dell'universo, sulla validità e applicabilità delle teorie della scienza fisica, sul significato più profondo delle leggi che governano il comportamento di tutto ciò che esiste, a ogni scala spaziale e temporale, dall'infinitamente piccolo all'incommensurabilmente grande, dai tempi più vicini a un'ipotetica origine del mondo a quelli che forse ne vedranno la fine definitiva. Cosa sappiamo oggi di relativamente certo e cosa invece ancora ci sfugge? Un gruppo di scienziati incoscientemente curiosi, fra i quali Becquerel, Roentgen e i coniugi Curie, avevano scoperto l'esistenza in natura della "radioattività", ossia il fenomeno per cui certi materiali sono instabili e si trasformano in altri materiali, emettendo in questo processo energia: parola "magica" che indica tutto (e niente). Uno degli effetti di questa classe di fenomeni era di caricare elettroscopi (relativamente semplici strumenti in grado di evidenziare uno squilibrio di cariche elettriche) e si pensava dunque che esistessero sorgenti "ionizzanti" (elettrizzanti) a livello del suolo o sotterranee permanentemente attive. Il gesuita Wulf effettuò però esperimenti in caverne e anche sulla torre Eiffel che smentivano l'ipotesi dell'origine terrestre di questa radiazione (gli effetti aumentavano con la quota e non il

contrario). Attorno al 1910 Hess, studioso di origini austriache, utilizzando una mongolfiera avviò una sequenza di voli in cerca di possibili cause degli eventi radioattivi e trovò che questi crescevano con l'altezza alla quale saliva. Da ciò non si poteva che dedurre un'origine extra-terrestre dei raggi cosmici che erano in grado di provocare la ionizzazione delle molecole e degli atomi atmosferici, ovvero la modifica del loro stato di eventuale neutralità elettrica. A questo si deve aggiungere che queste radiazioni non erano necessariamente di origine solare, visto che il loro flusso non variava notevolmente passando dalla notte al giorno, oppure durante un'eclissi di Sole. Millikan, noto per i suoi lavori sulla quantizzazione della carica elettrica e sull'effetto fotoelettrico, nel 1925 battezzò "raggi cosmici" questi eventi e, d'accordo con lo stesso Hess, li immaginò costituiti da raggi gamma, ovvero da radiazione elettromagnetica a energia relativamente elevata (ossia di lunghezza d'onda ancora più piccola di quella dei raggi X). Compton, in onore del quale si parla dell'omonimo effetto, per cui elettroni debolmente legati sono in grado di diffondere la luce secondo un modello di tipo collisionale e quantistico, pensava invece che la radiazione cosmica fosse costituita da particelle dotate di carica elettrica. Questa ipotesi veniva suffragata pochi anni dopo da Bothe e Kohloerster utilizzando delle pile di contatori Geiger: ulteriore supporto arrivava da Bruno Rossi che, ipotizzando per le cariche elettriche costituenti i raggi cosmici un segno positivo, immaginava che si sarebbe dovuto osservare un flusso differente a seconda della direzione di arrivo dei raggi cosmici. Così infatti è: si contano più eventi provenienti da Ovest.

Al di là dell'interesse "accademico" per questo tipo di radiazione, c'è da sottolineare il fatto che i raggi cosmici sono stati per molti decenni, prima della costruzione di acceleratori artificiali di particelle, l'unico "proiettile" in grado di sondare situazioni sperimentali molto complesse e richiedenti elevate energie, come nel caso della fisica nucleare e della fisica pionieristica delle particelle (pioni, muoni, anti-materia e altri importanti fenomeni). Anderson individuò delle particelle con carica positiva tramite una camera a nebbia. Risultavano del tutto simili, a parte appunto il segno di carica opposto, agli elettroni. Pochi anni prima, Dirac aveva previsto teoricamente, grazie alla forma relativistica dell'equazione d'onda di Schroedinger, l'esistenza di "antiparticelle", ovvero particelle compatibili con le osservazioni di Anderson (e poi anche di Blackett e Occhialini). Anderson avrebbe poi scoperto anche il muone. I pioni, previsti invece da Yukawa nell'ambito di un modello teorico per

studiare le forze nucleari, venivano osservati più avanti (nel 1947) usando lastre fotografiche che evidenziavano la produzione di queste particelle ("portatori" di forza nucleare) per causa di raggi cosmici. I pioni si trasformano poi in muoni. Ecco dunque che nasceva l'ipotesi che i raggi cosmici, come li vediamo giungere a Terra, sono in realtà causati da sequenze di urti, decadimenti e trasformazioni di raggi "primari" che colpiscono gli strati più esterni dell'atmosfera. A Terra giungono per lo più raggi cosmici "secondari" e questi venivano classificati come tali da Auger nel 1938, sempre utilizzando gruppi di contatori Geiger. La cosa sorprendente è che le analisi condotte al tempo suggerivano che vi potessero essere particelle con energie enormemente elevate nei gruppi primari, fino a milioni di miliardi di eV (la massa di un protone è di circa 1 miliardo di eV, quella di un elettrone circa mezzo milione). Più recentemente si sono riuscite a evidenziare "docce" di particelle provocate da eventi primari con energie anche centomila volte maggiori di quelle già estreme individuate da Auger: centinaia di miliardi di miliardi di eV. In definitiva: siamo sottoposti a un flusso continuo di raggi primari che contengono per lo più protoni, ma anche altri nuclei, neutrini, positroni, elettroni e fotoni sono ben rappresentati.

Il problema più grande era comunque quello di cercare di stabilire da dove nascessero (e perché) queste particelle. I tre ambienti più gettonati erano all'inizio il Sole (con Teller sostenitore di questa ipotesi), seguito dalla nostra Galassia - la Via Lattea (Fermi ne era convinto) e, a partire dagli anni 50 del secolo scorso, anche un'origine extra-galattica cominciava a prendere piede (Cocconi ne parlava al cospetto dell'enorme energia di certi eventi). Grazie all'avvento di nuove tecniche di analisi astronomica, sia nel campo del visibile che in quello delle onde radio e dei raggi X e, in seguito anche a osservazioni condotte da satelliti in orbita, si è imparato molto di più. Da un punto di vista più quantitativo, si sa oggi che moltissima radiazione di origine cosmica è composta da protoni con energie comprese fra 100 e 10000 MeV, ovvero con velocità pari a frazioni variabili fra poco più del 40% fino al 99,6% di quella della luce nel vuoto. Ciascuna di queste particelle dà luogo a sciame di svariati miliardi di eventi secondari che giungono a Terra investendone una superficie di molti chilometri quadrati.

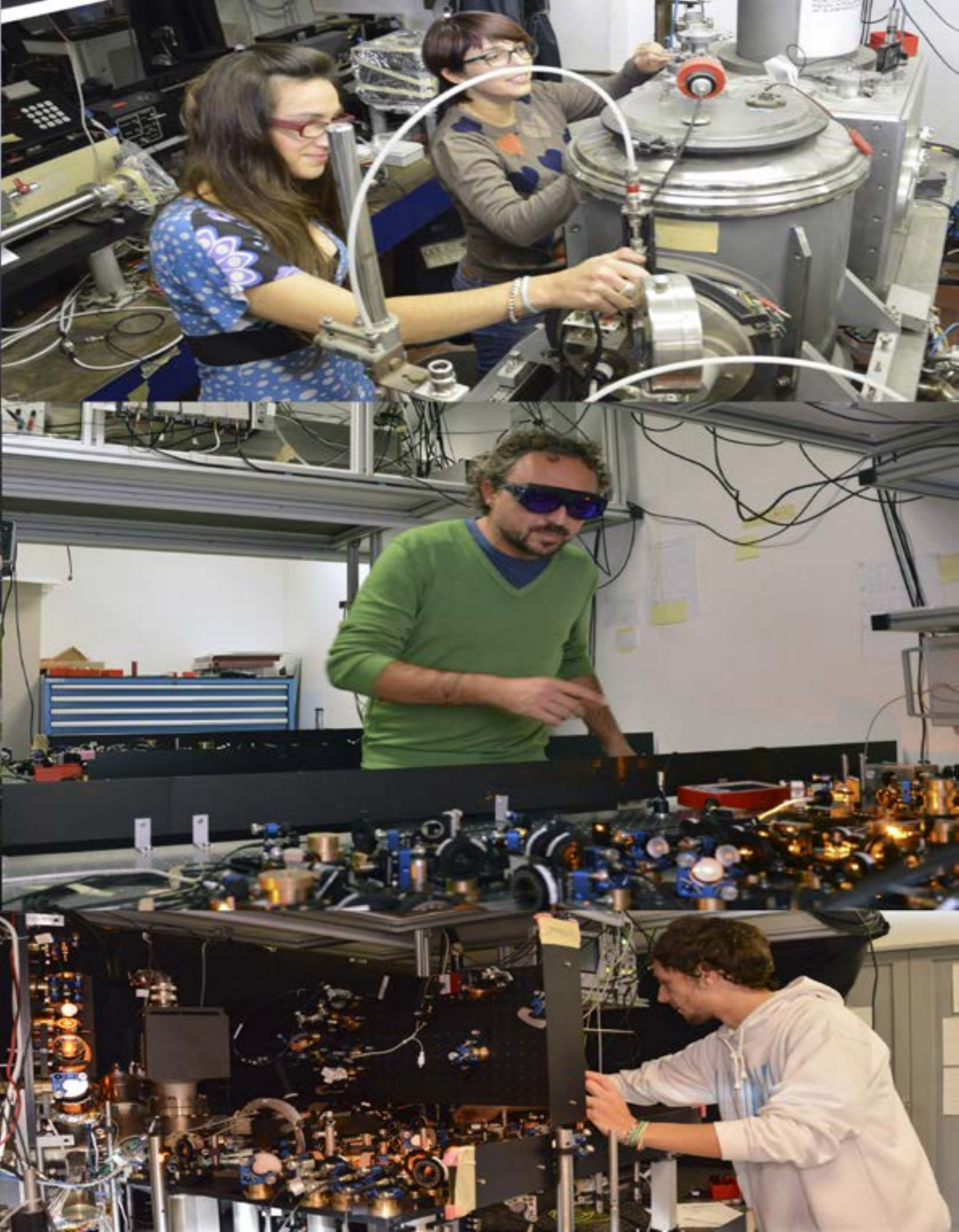
In definitiva, parlando delle possibili cause che generano le particelle primarie, si pensa che per energie di qualche miliardo di eV ci si debba riferire a origini solari; fino a milioni di miliardi di eV si parli di eventi che nascono dalla nostra Galassia, come per esempio a causa di esplosioni

di supernove; salendo fino a decine di miliardi di miliardi di eV si esce dalla nostra Galassia e ci si riferisce a pulsar e buchi neri; infine per energie ancora più elevate l'ipotesi è quella di indicare quasar extra-galattici come responsabili degli eventi primari di raggi cosmici. Puntualizzando ulteriormente: gli eventi solari sono composti per lo più da protoni ed elettroni e costituiscono quello che usualmente è detto anche "vento solare", in vista anche del fatto che la provenienza di queste particelle è la parte più esterna della nostra stella (la sua "corona"). Si tratta di un flusso con intensità variabile con periodicità dell'ordine di 11 anni, legata di fatto a quella delle macchie solari, fenomeni di notevole interesse anche per quanto riguarda il loro effetto sulla funzionalità delle apparecchiature di comunicazione e, in generale, elettroniche della nostra tecnologia. Va anche ricordato che questo "vento" solare è causa delle aurore boreali e australi, ovvero delle manifestazioni luminose a elevate latitudini (sia a Nord che a Sud) causate dall'eccitazione e successiva diseccitazione di atomi dell'atmosfera terrestre provocate dal bombardamento cosmico/solare con la particolare influenza "geometrica" del campo magnetico (ovvero della sua "forma") del nostro pianeta. Salendo in energia, è complicato capire e discriminare particelle provenienti dal Sole o da origini più remote. Nel caso però di radiazione "gamma", ovvero radiazione elettromagnetica di energia compatibile con varie tipologie di reazioni nucleari e/o coinvolgenti decadimenti o trasformazioni di particelle subatomiche, è possibile stabilire con maggiore attendibilità la loro origine, ossia il meccanismo che ne causa la presenza. Si conoscono in particolare i fenomeni di "bremsstrahlung", ovvero di emissione di radiazione elettromagnetica causata dal frenamento di una carica elettrica, come nel caso della radiazione di "sincrotrone", anche in questo caso provocata dall'accelerazione (centripeta o curvilinea come si preferisce dire) del moto curvo (elicoidale per esempio) di elettroni, oppure il già nominato effetto Compton, secondo il quale, in una sua situazione cosiddetta "inversa", il campo elettromagnetico luminoso può acquistare energia dagli elettroni cosmici fino a diventare fotoni di tipo gamma. Può anche accadere che particelle e anti-particelle (come per esempio l'elettrone e il positrone) si incontrino per annichilarsi reciprocamente rilasciando fotoni "gamma" relativamente energetici. Esiste poi la possibilità che raggi cosmici costituiti da protoni interagiscano con altri protoni: il risultato è la produzione di mesoni i quali, instabili, si trasformano in radiazione elettromagnetica di tipo gamma. A tale scopo le energie richieste



per la formazione di mesoni nelle collisioni fra protoni possono essere rese disponibili a seguito della formazione di una stella di tipo supernova e dell'associata onda d'urto che ne deriva. Questo fatto è supportato da evidenza sperimentale, osservativa, come quella per esempio resa disponibile grazie alle immagini che il telescopio Whipple ha prodotto nella Nebulosa del Granchio, ove si colloca il "fossile" elettromagnetico di una supernova di circa un millennio fa. Anche il sistema di osservazione di tipo "Cerenkov" denominato High Energy Stereoscopic System (HESS) ha permesso di individuare varie sorgenti gamma. E' anche verosimile che i buchi neri presenti al centro di molte galassie siano, durante il loro moto rotazionale, causa di getti di materia a elevata energia (osservati con radiotelescopi) che costituirebbero la vera sorgente extra-galattica di raggi cosmici. Eventi con energie ancora più elevate hanno origini decisamente più misteriose, anche perché esistono teorie che, in un certo senso, non permetterebbero ai raggi cosmici di possedere energie maggiori di un dato valore massimo. Alcuni studi supportano la possibilità di quasar a distanze relativamente ridotte dai nostri punti di osservazione che contengono buchi neri ruotanti i cui campi magnetici sarebbero sufficienti a produrre le enormi energie osservate per questi eventi estremi. Non si escludono però altre cause, qualcuna anche molto esotica, come lo scontro globale fra galassie.

Si capisce dunque, in conclusione, che al di là di fenomenologie specifiche, di strumentazione dedicata e banco di prova per teorie già assestate (ma non per questo banali o scontate, come la relatività di Einstein e la fisica dei quanti), i raggi cosmici si dimostrano continua fonte di scoperte e motivazione ad andare oltre l'universo conosciuto, in virtù della colossale energia che essi possono mettere a disposizione di esperimenti altrimenti inaccessibili a qualsiasi tecnologia artificiale oggi e in futuro immaginabile.



## Perché arrampicare in cordata con le scuole (e con i cittadini)

Si tratta di un progetto all'avanguardia - al di là degli aspetti più accademici di ricerca scientifica tradizionale e di frontiera - anche nel campo del rinnovamento della didattica delle scienze fisiche e, più in generale, delle possibilità di outreach e di comunicazione delle scienze verso il grande pubblico.

Al di là delle specificità legate alla big science nel settore delle alte energie, come già sottolineato, CORDATA permette di attivare e sostenere tutta una serie di importanti attività di scoperta e apprendimento legate a una molteplicità di argomenti di estremo interesse, spaziando dai fondamenti delle scienze fisiche per giungere alle più moderne tecnologie, attraverso soggetti trasversali, integrati e interdisciplinari.

Gli aspetti metodologici e didattici fanno riferimento alle richieste attuali di ottemperare alle indicazioni nazionali (come pure a linee guida locali, come quelle della Provincia Autonoma di Trento) per la riforma dei piani di studio scolastici del II grado di istruzione (secondaria, ma non solo), che prevedono una crescita culturale e motivazionale degli studenti circolare, per temi, non sequenziale, fortemente imperniata su questioni di apprendimento per scoperta (IBSE, Inquiry Based Science Education, Problem Solving in un sistema flipped class, recupero graduale del divergent and creative thinking). Le pratiche necessarie a condurre esperimenti con CORDATA sono in perfetto accordo con questo tipo di metodologie didattiche, visto che consentono allo studente (e al docente che lo guida e lo assiste) di affrontare un "grande problema" a partire da una "cassetta degli attrezzi" (cognitiva e operativa) in continua costruzione, per giungere ad acquisire competenze più che statiche conoscenze. La modalità flipped class, in particolare, si presta a un'interessante e affascinante realizzazione grazie a CORDATA: si tratta di uno schema metodologico nel quale la tradizionale lezione "frontale" (e noiosa) viene eliminata e lo studente studia a casa, su testi (ovvero su internet o altri supporti multimediali) l'argomento principale, "teorico". Il lavoro in classe, in collaborazione con gli altri studenti, viene invece svolto sotto la guida dell'insegnante che affronta applicazioni, risoluzione di problemi, svolgimento di esercizi e così via. Il ribaltamento del paradigma didattico. CORDATA permette inoltre di affrontare il tema della integrazione di vari aspetti di una grande disciplina come è la scienza fisica. Questa

è una caratteristica di particolare valenza sociale, visto che la cittadinanza è sempre più attenta al problema della sensibilizzazione alle implicazioni (tecnologiche, ma anche culturali) della scienza. La fisica è linea guida al metodo scientifico ma non viene spesso percepita come tale, visto che è presentata quasi solamente per tramite di esperimenti inarrivabili, di frontiera (e molto costosi) ovvero di teorie estremamente complesse (e di apparente inutilità o scarso valore nel quotidiano).

Parlare di relatività, di massa, energia, radioattività, elettromagnetismo, ottica, cosmologia, astrofisica e via dicendo, tutti temi centrali in CORDATA, come pure e più in generale di scienza della Terra, informatica, matematica, comunicazioni e altre discipline connesse, è una strategia vincente per aprire porte altrimenti blindate della torre d'avorio della fisica. Di ciò se ne può avvantaggiare anche l'istituto che supporta questo investimento di risorse ed energie, da un punto di vista dei materiali e del personale. Da questo punto di vista, la tematica affrontata si colloca con proprietà in un contesto di supporto al "pensiero creativo", ovvero a quelle modalità cognitive di apprendimento che vengono spesso se non oscurate certamente inibite in un contesto educativo tradizionale, nel quale "la soluzione del problema è in fondo al libro di testo" e non sono ammesse altre vie interpretative, soluzioni alternative, al limite idee "sbagliate" (che non esistono, ovviamente, se non nei modelli valutativi vetusti eppure ancora presenti nel sistema scolastico attuale).

Una presenza iniziale presso il Festival della Scienza di Genova, palcoscenico di prestigio vista la numerosità di pubblico che caratterizza questo evento, è senz'altro un biglietto da visita importante e da sostenere. Ma si tratta solo di un inizio: la rete che le Guide di questa Cordata tesseranno sarà, per le nuove caratteristiche dei rivelatori, accessibile a scuole e a un pubblico che prima non aveva nemmeno ipotizzato di potersi avvicinare a questa tecnologia e a questo mondo. Le ricadute culturali - a scuola ma non solo, come sopra già accennato - saranno ampie e veicolo di innovazione didattico e comunicativo come raramente raggiunto in precedenza.



## Sensori di luce. Il progetto

di Claudio Piemonte

*Il cuore tecnologico dei rivelatori utilizzati per il laboratorio CORDATA è un dispositivo in silicio progettato, realizzato e testato nei laboratori della Fondazione Bruno Kessler di Trento.*

Integrato nel rivelatore di CORDATA c'è un sensore che al passaggio di una particella emette un segnale elettrico.

Il sensore di luce accoppiato allo scintillatore e' l'elemento tecnologicamente piu' avanzato del rivelatore di muoni.

Storicamente, la rivelazione di questi debolissimi lampi di luce viene fatta dai tubi fotomoltiplicatori (PMT).

Sono tecnologie paragonabili a delle valvole a vuoto, come quelle usate nelle vecchie radio; si basano su un sistema di conversione dei fotoni di luce in elettroni che, a loro volta, vengono moltiplicati un milione di volte per produrre un segnale elettrico significativo.

La storia di questi dispositivi è lunga e per questo motivo hanno dalla loro parte affidabilità, durata e prestazioni di alto livello.

D'altro canto, presentano dei limiti importanti, quali la fragilità, l'ingombro, l'inoperabilità in presenza di campi magnetici, l'alta tensione di alimentazione. Maneggiarli nelle attività di laboratorio, comporta un certo grado di pericolosità.

Il Centro Materiali e Microsistemi della Fondazione Bruno Kessler è stato uno dei primi sviluppatori di una tecnologia alternativa ai PMT, basata sulla tecnologia micro-elettronica che viene usata, per esempio, in tutti i micro-chip presenti nei nostri telefonini e computer.

Tale dispositivo è chiamato fotomoltiplicatore al silicio (SiPM).

Come dice il nome, mira ad essere la controparte al silicio del tubo fotomoltiplicatore.

Rispetto al PMT presenta dei vantaggi importantissimi ed abilitanti per molteplici applicazioni.

Si tratta di dispositivi compatti, altamente integrabili, insensibili ai campi magnetici e basati su una tecnologia al silicio altamente sviluppata. Molto sinteticamente, i SiPM sono formati da migliaia di piccolissime

celle (dell'ordine di qualche centesimo di millimetro) in grado di produrre un segnale elettrico significativo, in corrispondenza dell'arrivo di un singolo fotone. Hanno quindi una sensibilità di gran lunga superiore a qualsiasi altro sensore di luce.

Ad oggi, le prestazioni raggiunte da questi oggetti innovativi hanno superato quelle dei tradizionali tubi e vi sono ancora ampie prospettive di miglioramento.

Le applicazioni piu' significative sono nell'ambito degli esperimenti di fisica delle alte energie, nella medicina nucleare e nella strumentazione analitica e biologica.

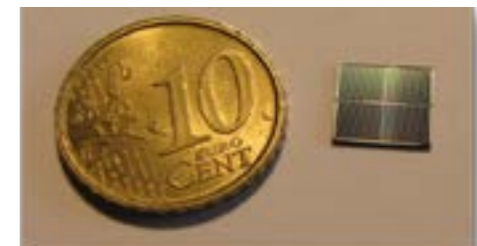


*classico tubo fotomoltiplicatore*

*fino ad oggi unico sensore di luce a bassissima intensità*



*mattonella elementare di fotomoltiplicatore al silicio*





## Fabbricare micro&nano dispositivi

di Pierluigi Bellutti e Maurizio Boscardin

Ogni dispositivo ha componenti micro che necessitano di essere lavorate in un ambiente particolarmente pulito. Anche un granello di polvere potrebbe comprometterne infatti il funzionamento. La camera pulita di FBK, nella zona più delicata, è di classe 10 che significa, detto in termini non scientifici migliaia di volte più pulita di una camera operatoria. Nel soffitto l'aria è continuamente filtrata e il personale protegge l'ambiente con la cura estrema del vestiario. Il Laboratorio collabora fin dalla sua realizzazione con l'INFN - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, che lo ha coinvolto nella progettazione e nello sviluppo di dispositivi, che rappresentano la chiave per esperimenti di fisica fondamentale, sia nei grandi acceleratori che per lo spazio. Nel recente passato il Centro di Materiali e Microsistemi della Fondazione, cui afferiscono competenze e laboratori dedicati, ha progettato e prodotto 600 rivelatori al silicio, realizzati per il grande progetto ALICE del CERN - Centro Europeo per la Ricerca Nucleare- di Ginevra, ottenendo il riconoscimento di un premio prestigioso. Dispositivi FBK sono stati integrati nei rivelatori del progetto AMS, collocato sulla stazione orbitante internazionale per la ricerca dell'antimateria. I rivelatori al silicio e le camere a deriva al silicio, sono parte della strumentazione che verrà

portata nello spazio dall'ESA - Agenzia Spaziale Europea.

Particolarmente importante è risultata la collaborazione tra INFN e FBK nel settore dei "silicon photomultiplier", dispositivi con ampie applicazioni che vanno dalla fisica fondamentale ai settori bio-medicali, affacciandosi ad un mercato mondiale stimato milioni di euro. E' una collaborazione che ha già portato all'acquisizione di importanti contratti europei e alla creazione di un'impresa spinoff.

La lavorazione comincia con due processi paralleli: la progettazione e lo sviluppo della tecnologia. Sviluppo e fabbricazione sono il core del laboratorio di FBK dove arrivano le fette di silicio e le maschere che guidano la sequenza delle lavorazioni, che a loro volta costituiscono le tappe che trasformano una fetta di silicio in una serie di sensori.

Il dispositivo integrato nel rivelatore di CORDATA, è un siliconphotomultiplier, un fotomoltiplicatore in silicio capace di vedere bassissime intensità di luce, ogni singolo fotone.

Nel Sipm l'arrivo di una piccola particella - un fotone - provoca un effetto valanga, come se la particella rivelata ne creasse altre e queste altre ancora fino a rappresentare un segnale visibile. La sequenza di lavorazione è costituita da una serie di operazioni che nell'insieme hanno una durata media di qualche mese.

Primo passo è far "crescere" sulla fetta uno strato di ossido di silicio in forni ad alta temperatura, circa 1000 gradi. La litografia è la tecnica che trasferisce sulla fetta di silicio ossidata il progetto disegnato sulle maschere.

Per ogni strato necessario a comporre l'intero disegno del dispositivo è necessaria una maschera dedicata.

Per ogni strato la fetta può essere lavorata per rimuovere le parti non funzionali o piuttosto essere modificata chimicamente attraverso il drogaggio ovvero l'introduzione di atomi di elementi diversi dal silicio: un trattamento che ne modifica le caratteristiche elettriche.

Dopo la lavorazione di ogni singolo strato la fetta torna in litografia e lo fa per una decina di volte.

L'ultimo passaggio è la deposizione dei metalli che servono a connettere tra loro le varie parti di un dispositivo e permettere successivamente la comunicazione con l'esterno. Dopo tre mesi di passaggi di lavorazione la fetta con i suoi dispositivi va al testing che ne verifica la funzionalità. Dal dispositivo che esce dal laboratorio al rivelatore, che studenti e pubblico utilizzano in CORDATA, la strada è ancora lunga affidata com'è da un'altra lunga sequenza di montaggi e integrazioni, diverse come le tecnologie cui è destinata.





## Tecnologie 3D a favore della scienza

di Fabio Remondino

La visita alla Camera pulita di FBK è un esempio del contributo delle nuove tecnologie 3D al pubblico della scienza perché possa condividere esperienze della ricerca e con l'esperienza anche le emozioni.

Le nuove tecnologie digitali e tri-dimensionali (3D) sono oggi alla base di molti servizi e applicazioni in diversi campi della scienza ma anche impiegati nella vita comune di tutte le persone. Il 3D ci permette di monitorare, proteggere e valorizzare territorio e città, ci consente di geo-localizzarci, di eseguire delle repliche fisiche (3D printing) nonché è uno strumento per l'intrattenimento (ad esempio il cinema).

Negli ultimi anni il rilievo, monitoraggio, protezione e modellazione tridimensionale (3D) di territori, città e patrimonio culturale ha ricevuto molta attenzione e interesse da parte sia della comunità scientifica che del mercato. La Geomatica è quella disciplina che si occupa dell'acquisizione, trattamento e visualizzazione di dati spaziali e geografici. La Geomatica si basa su tecniche quali la fotogrammetria, laser scanning, telerilevamento, GIS, etc. impiegando sensori attivi (ad es. laser scanner) o passivi (ad es. camere digitali) per la raccolta di dati che vengono poi processati per derivarne informazioni 3D utili alla gestione e pianificazione territoriale, monitoraggio, documentazione, restauro, animazione, visualizzazione, etc.

L'unità 3DOM della Fondazione Bruno Kessler di Trento è inserita all'interno di queste problematiche e linee di ricerca; è specializzata nell'analisi di dati geo-referenziati e geo-spaziali, monitoraggio 3D e modellazione di paesaggi o architetture, integrazione di sensori e dati, rilevamento dei cambiamenti ambientali, ricostruzioni digitali di strutture man-made, elaborazione di informazioni metriche

e semantiche da immagini e dati, mappature e monitoraggi 3D, analisi termiche, mobile mapping, GIS e cartografia, documentazione e conservazione digitale del patrimonio culturale, etc. Un know-how consolidato è stato acquisito nello sviluppo di software di metrologia o di metodologie di fotogrammetria terrestre, UAV, aerea e satellitare, così come pure nell'impiego e nel trattamento di dati raccolti con sensori ottici attivi a tempo di volo e triangolazione. 3DOM ha sviluppato software e metodologie che possono essere applicate in diversi settori: dai Bacini idro montani ai beni culturali, dal monitoraggio di edifici o territori alla stima del potenziale fotovoltaico, dalla modellazione delle città al rilievo per repliche fisiche, dagli ambienti subacquei a quelli di naturali di amplissime dimensioni.

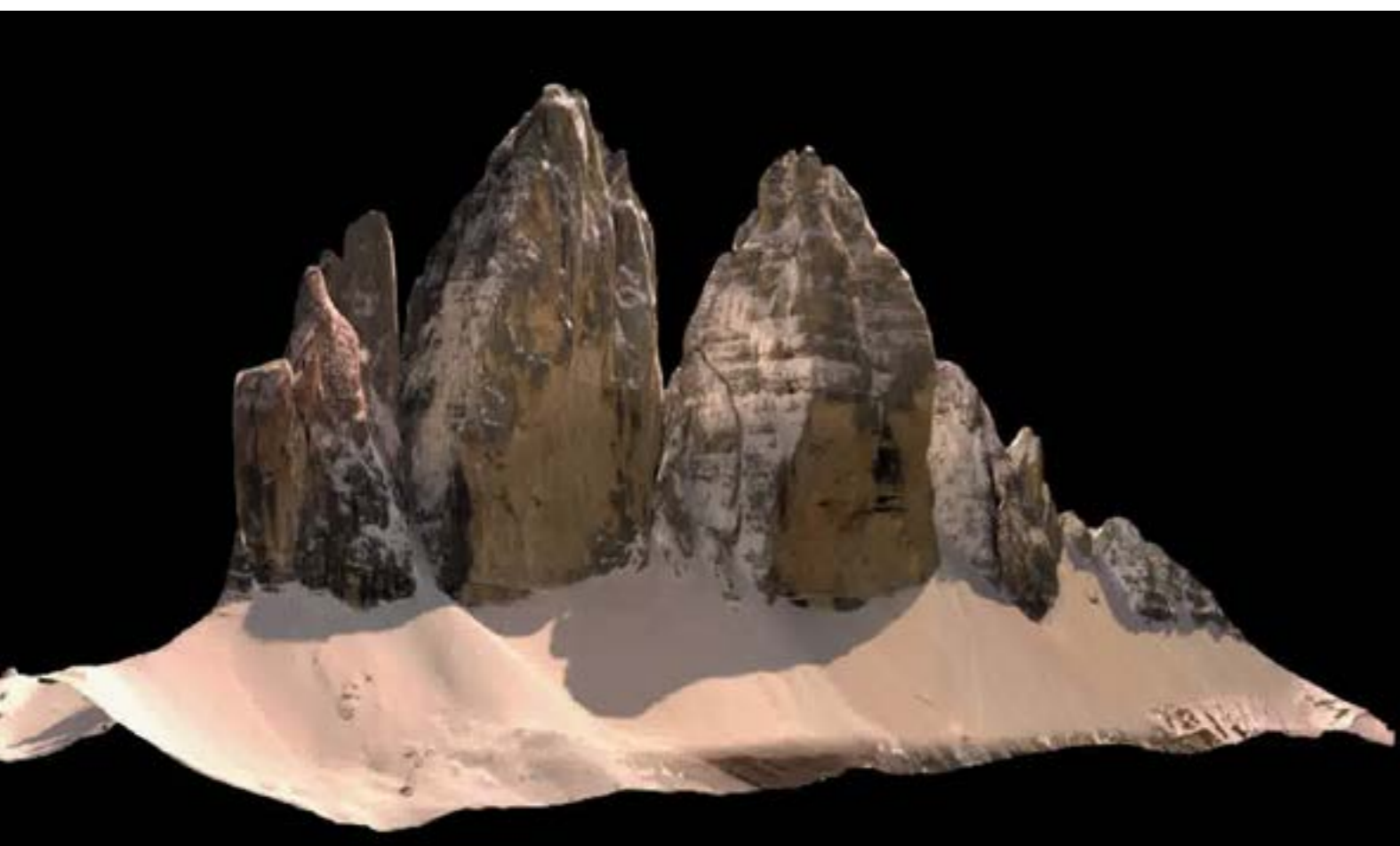
A livello internazionale, la ricerca FBK è molto riconosciuta e recentemente è stata più volte premiata. L'approccio multi-disciplinare e multi-sensoriale di 3DOM permette di applicare le competenze del gruppo in diversi settori. 3DOM copre infatti tutti gli aspetti della catena del rilievo, monitoraggio e modellazione 3D ed ha una vasta esperienza nelle metodologie per l'integrazione di sensori, che rappresentano l'approccio più adatto per scenari vasti e complessi.

### La nuova imprenditoria: lo Spin-off SMART3K

Dalla conoscenza pluriennale delle tecniche e delle metodologie tridimensionali maturate all'interno del gruppo di ricerca 3DOM da Alessandro Rizzi, nel novembre del 2012 è nato lo Spin-off SMART3K, che ha realizzato il filmato full immersion proposto al pubblico di CORDATA.



Modello tridimensionale e proiezione della pianta del Castello di Stenico (TN)





## MUSE ... curioso di natura

di Michele Lanzinger

Il progetto CORDATA costituisce un esempio ammirevole di chiara interpretazione e messa in pratica delle funzioni attese per i progetti di divulgazione scientifica nell'importante settore delle STEM (Science, Technology, Engineering and Maths).

Tutte queste componenti sono presenti a sottolineare come oggi l'azione educativa richieda di essere inserita in una catena di significato il cui elemento fondante, il perché, riguarda la formazione di nuove generazioni capaci di pensiero integrativo tra le discipline, di creatività e di capacità di focalizzazione su obiettivi tangibili. Il progetto mette in gioco ulteriori valori. Alla scala locale esprime in modo eloquente la capacità di collaborare da parte delle istituzioni di ricerca e di diffusione culturale. Più diffusamente esso promuove un'immagine del Trentino quale territorio dove la ricerca e la diffusione della conoscenza scientifica sono considerati parte integrante della formazione di una cittadinanza capace di futuro.

Il Muse partecipa con entusiasmo al progetto CORDATA nella consapevolezza che attraverso questi progetti integrati tra istituzioni si trovi la chiave di una sempre migliore capacità di agire e interagire tra scienza e società.



# Oltre il limite

Viaggio ai confini della conoscenza

L'origine e il futuro dell'Universo in mostra

9 novembre 2014 – 14 giugno 2015

MUSE Museo delle Scienze  
Trento – Corso del Lavoro e della Scienza, 3  
www.muse.it

Con la partecipazione di



Con il sostegno di



## Oltre il limite. Viaggio ai confini della conoscenza

### La mostra

Nel MUSE, il Museo delle Scienze di Trento – firmato da Renzo Piano - il pubblico è il vero protagonista della visita, grazie alla sperimentazione in prima persona, all'interazione con exhibit multimediali, giochi interattivi e ambienti immersivi. Attraverso strumenti di apprendimento informale – studiati per tutte le età e diversi livelli di approfondimento - il MUSE racconta le meraviglie dell'ambiente alpino e della natura che ci circonda, toccando al contempo temi di interesse planetario, come lo sviluppo sostenibile e la conservazione della natura e lanciando uno sguardo verso il futuro.

A partire dall'8 novembre 2014 e fino al 14 giugno 2015, il MUSE inaugura "Oltre il limite. Viaggio ai confini della conoscenza", la prima grande mostra del MUSE. Promossa dal Muse e dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, con la partecipazione dell'Agenzia Spaziale Italiana e con la collaborazione dell'Università di Trento e della Fondazione Bruno Kessler, è dedicata al tema del limite. Grazie ad exhibit interattivi, allestimenti, video ed esperienze multimediali i visitatori potranno avventurarsi alla scoperta dell'universo e dei suoi misteri. Tra i temi trattati, il big bang, l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande, le relazioni tra energia e materia, l'antimateria, i limiti della mente e della tecnologia scientifica e la natura del tempo.

Incontri, conferenze e laboratori coinvolgeranno ulteriormente i visitatori nell'esplorazione dei limiti della realtà percepita e immaginata, della tecnologia, della mente e dei sensi. Il "limite" è, chiaramente, il perno attorno a cui si struttura concettualmente tutta l'esperienza di visita: non è un muro invalicabile, ma uno sprone che ci invita irresistibilmente ad avanzare, come Ulisse, verso un orizzonte che ad ogni passo si sposta un po' più in là. L'unica costante è il desiderio profondamente umano di spingersi oltre, esplorare la frontiera con gli strumenti a disposizione, trovare nuove risposte, o più spesso, nuove domande. "Oltre il Limite" è viaggio multisensoriale che conduce per mano alla scoperta del noto e dell'ignoto, dove i confini tra scienza, filosofia e arte, tra fisica e metafisica si annullano. Nello stesso modo, quando si esplora l'infinitamente piccolo, crollano le barriere tra tempo, massa ed energia, tra il soggetto che osserva e l'oggetto osservato: sono gli affascinanti paradossi della meccanica quantistica, uno degli ambiti affrontati dalla mostra. La nostra conoscenza dell'universo è limitata, e ogni scoperta è un trampolino di lancio per nuove indagini dagli esiti imprevedibili. Ciò che non ha limiti è l'immaginazione.



## Torno indietro e ammazzo il nonno. Dove va il tempo che passa

### Il teatro

di Andrea Brunello

#### Compagnia Arditodesio | Teatro Portland

in collaborazione con il Laboratorio di Comunicazione delle Scienze Fisiche del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Trento

Uno spettacolo di e con Roberto Abbiati e Andrea Brunello

Testo di Andrea Brunello con il contributo di Stefano Oss

Scene e drammaturgia scenica di Roberto Abbiati

Regia di Leonardo Capuano

Costumi di Patrizia Caggiati

Luci di Marianna Tozzo

Con il supporto di Armunia - Castiglioncello

Un progetto reso possibile dal contributo della Fondazione Caritro, dalla Provincia Autonoma di Trento e dalla Regione Trentino Alto Adige.

Consulenza scientifica di Stefano Oss, Dipartimento di Fisica Università degli Studi di Trento

Consulenza filosofica di Enrico Piergiacomi, Dipartimento di Lettere e Filosofia Università degli Studi di Trento

Il premio nobel Steven Weinberg scrisse "Più l'universo sembra comprensibile e più sembra senza senso". Nulla di più vero quando pensiamo al Tempo.

Dove va il Tempo che passa? è la domanda che Albert Einstein si pose quando, ragionando sul concetto di spazio-tempo, volle cercare una simmetria fra il moto spaziale e quello temporale. Crediamo che questa domanda racchiuda in sé tutta la poesia e allo stesso tempo la profondità di un pensiero geniale che ha saputo generare così tante trasformazioni nel nostro modo di vivere e di percepire il mondo.

Dove va il tempo che passa? non è quindi solo una domanda esistenziale e filosofica, ma è di fondamentale importanza per la scienza. I fisici proprio non sanno dove vada il tempo! E da dove viene! Di cosa è fatto? Finirà? Se il tempo è come lo spazio, allora possiamo viaggiare nel tempo? Con che paradossi ci confrontiamo? Che cosa è la Freccia del Tempo?

Torno indietro e uccido il nonno ha a che fare proprio con queste domande. Lo fa in un modo umano, tenero, delicato, emozionale. Lo spettacolo è la storia di un uomo anziano che capisce che ormai la sua vita è agli sgoccioli e cerca suo nonno per trovare conforto. Ma suo nonno è morto da tempo... solo il suo spirito sopravvive. E' un fantasma, un sogno, una visione.

La scena è totalmente nera. Un letto di ospedale un po' storto e forse troppo piccolo. Una sedia di metallo parecchio strana. L'anziano signore seduto sul letto è un clown (l'Augusto) e suo nonno, più giovane, è il clown Bianco. I due hanno una conversazione surreale sul Tempo, fatta di gesti, azioni, movimenti, parole, concetti... Ne risulta uno spettacolo illuminante e toccante allo stesso tempo: la scienza incontra Aspettando Godot incontra Sant'Agostino incontra Einstein al ritmo della musica dei Radiohead!

Torno indietro e uccido il nonno è parte del Progetto CORDATA della Fondazione Bruno Kessler, di INFN-TIFPA e del Dipartimento di Fisica dell'Università di Trento. Lo spettacolo ha come obiettivo quello di stimolare interesse sul tema scientifico del Tempo in un modo del tutto nuovo. Il pubblico apprezzerà il teatro ma anche la scienza che viene raccontata. Il risultato è una piena esperienza emozionale oltre che culturale.