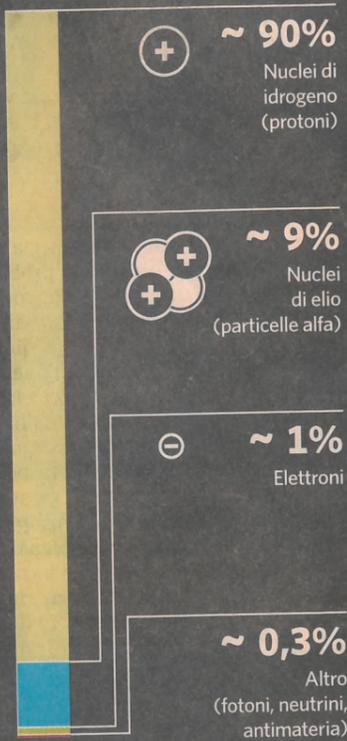


# Gli effetti e le applicazioni dei raggi cosmici

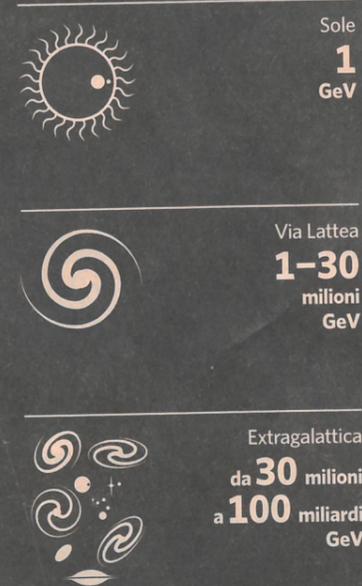
La loro diversa interazione con la materia consente di impiegarli come rilevatori in vari campi: dall'interno dei vulcani e delle piramidi fino alle fornaci

## I RAGGI COSMICI PRIMARI



## DA DOVE PROVENGONO

Provenienza dei raggi cosmici primari e ordine di grandezza della loro energia in GeV (1 GeV = 1 miliardo di elettronvolt)



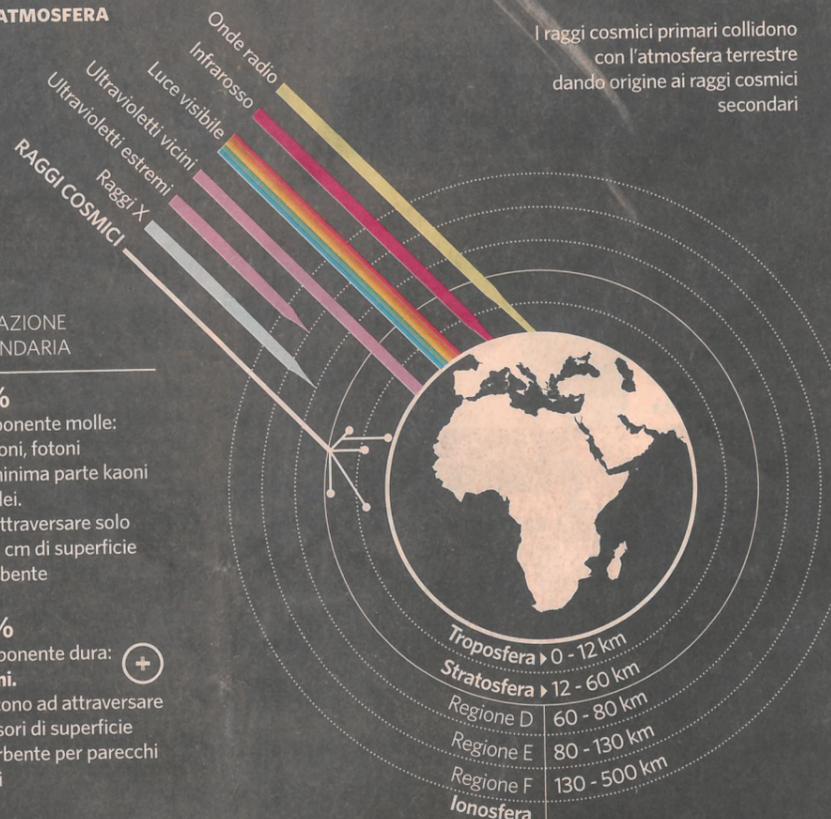
## NELL'ATMOSFERA

I raggi cosmici primari collidono con l'atmosfera terrestre dando origine ai raggi cosmici secondari

## RADIAZIONE SECONDARIA

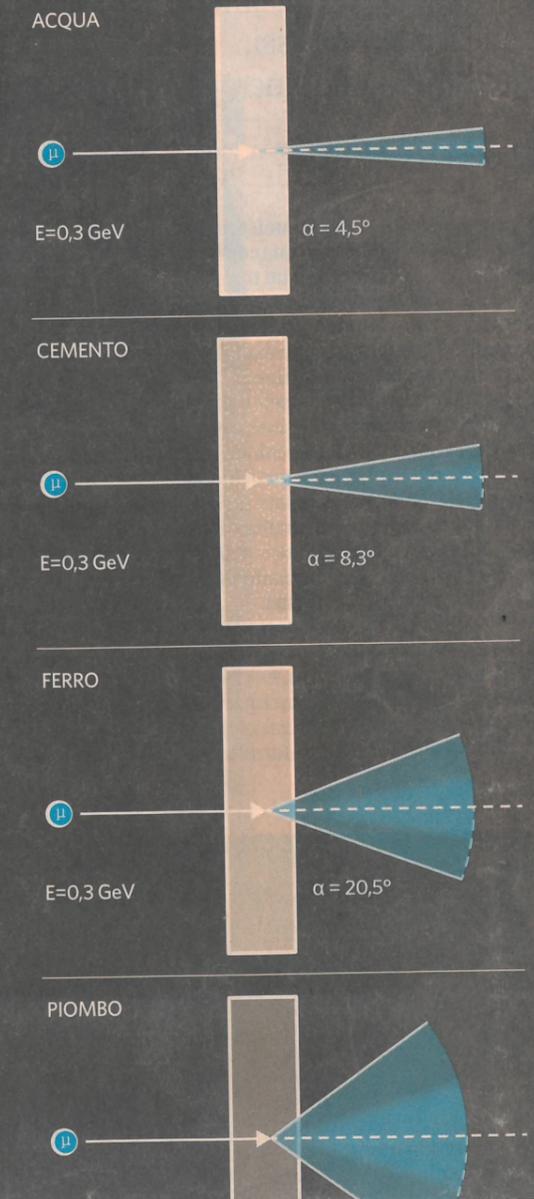
**30%** Componente molle: Elettroni, fotoni e in minima parte kaoni e nuclei. Può attraversare solo pochi cm di superficie assorbente

**70%** Componente dura: **Muoni**. Riescono ad attraversare spessori di superficie assorbente per parecchi metri

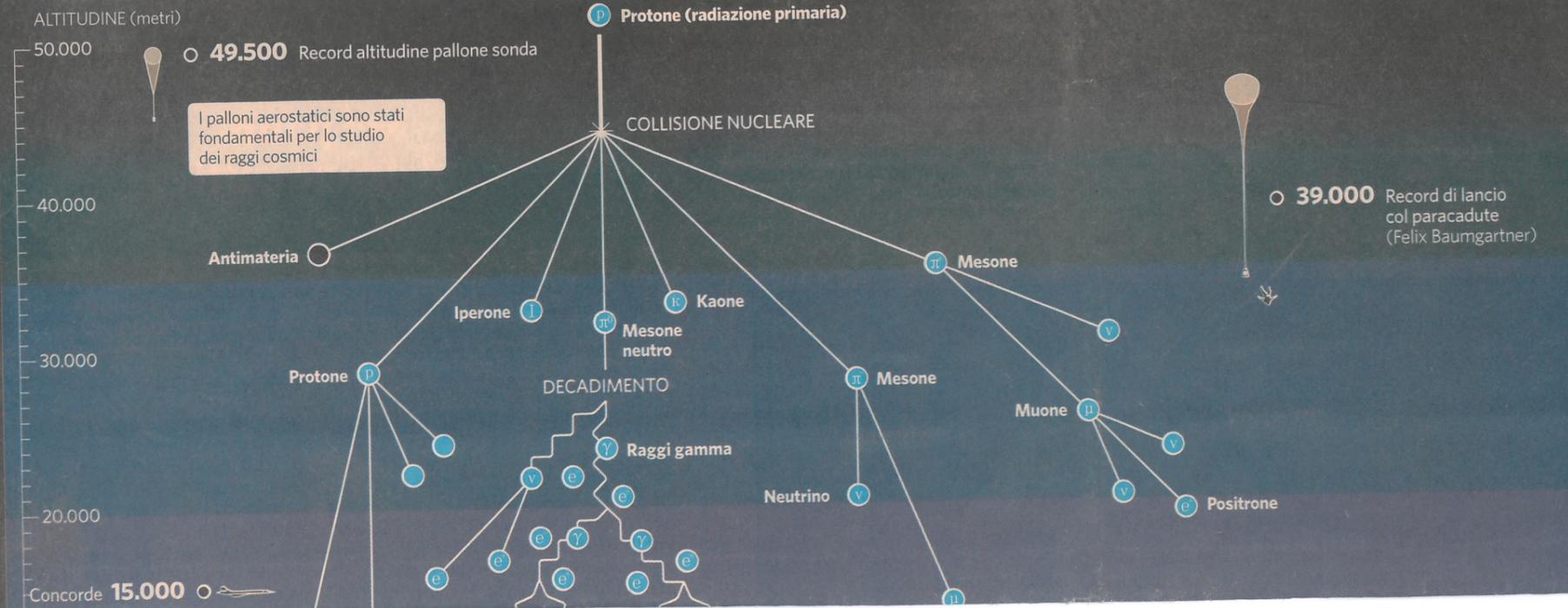


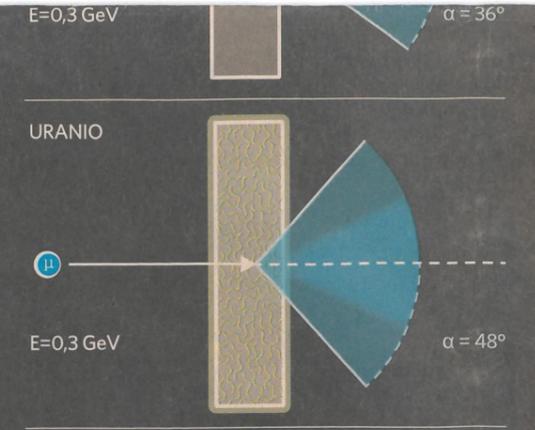
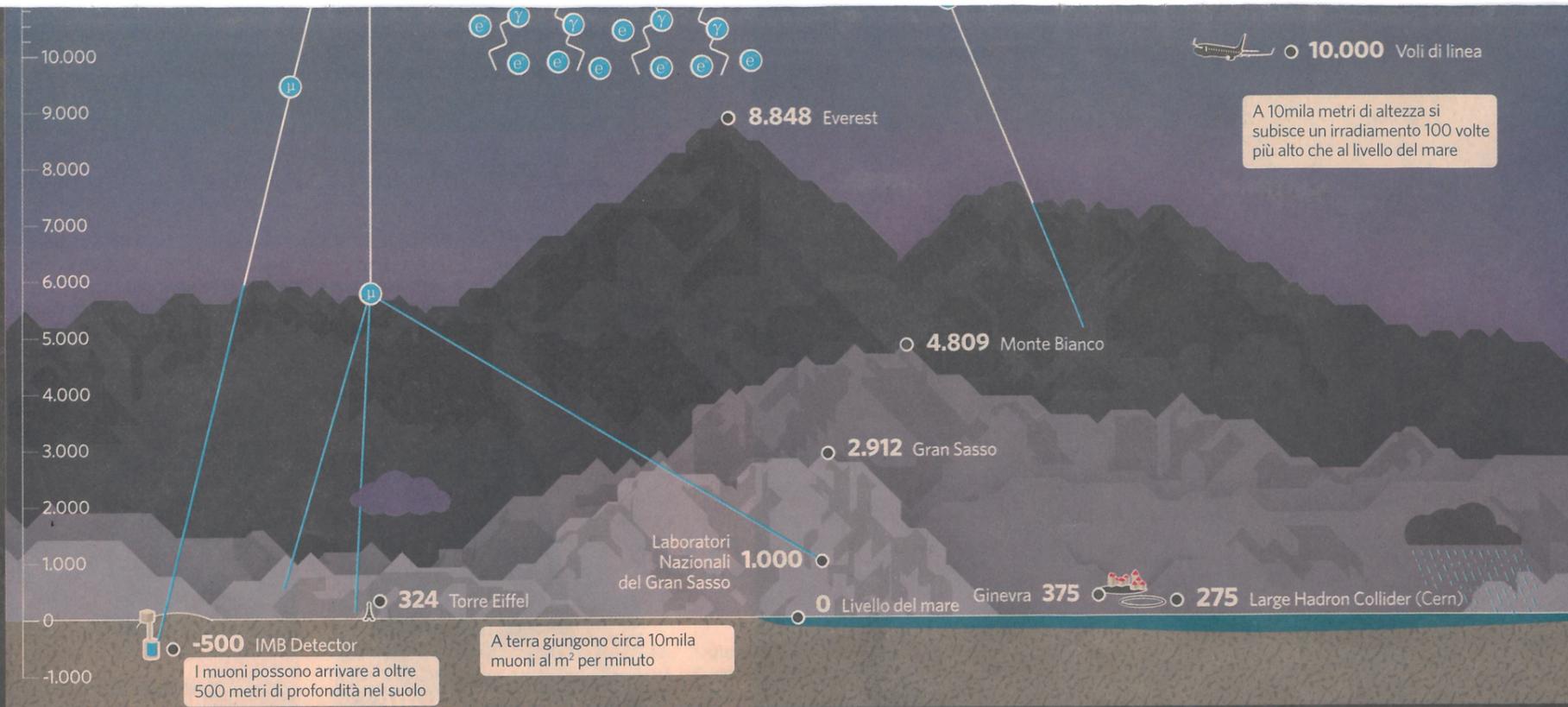
## LA TOMOGRAFIA MUONICA

Quando interagiscono con la materia, i raggi cosmici vengono rallentati e deviati dalla loro traiettoria originale. L'entità della deviazione dipende dall'energia del raggio, dallo spessore e dal tipo di materiale attraversato. A parità di energia e di spessore l'angolo massimo della deviazione aumenta con la densità del materiale, come rappresentato in figura per dei muoni di 0,3 GeV (un GeV è pari a circa 3,83<sup>14</sup> kcal). Nel grafico sono riportati, in funzione dell'energia e del materiale, gli angoli massimi di deviazione per uno spessore di 10 cm di materiale attraversato. L'energia media dei muoni che giungono a terra è di circa 3-4 GeV. Per un muone di 3 GeV la deviazione è 10 volte più piccola rispetto ai valori riportati in figura



## LO SCIAME DI PARTICELLE

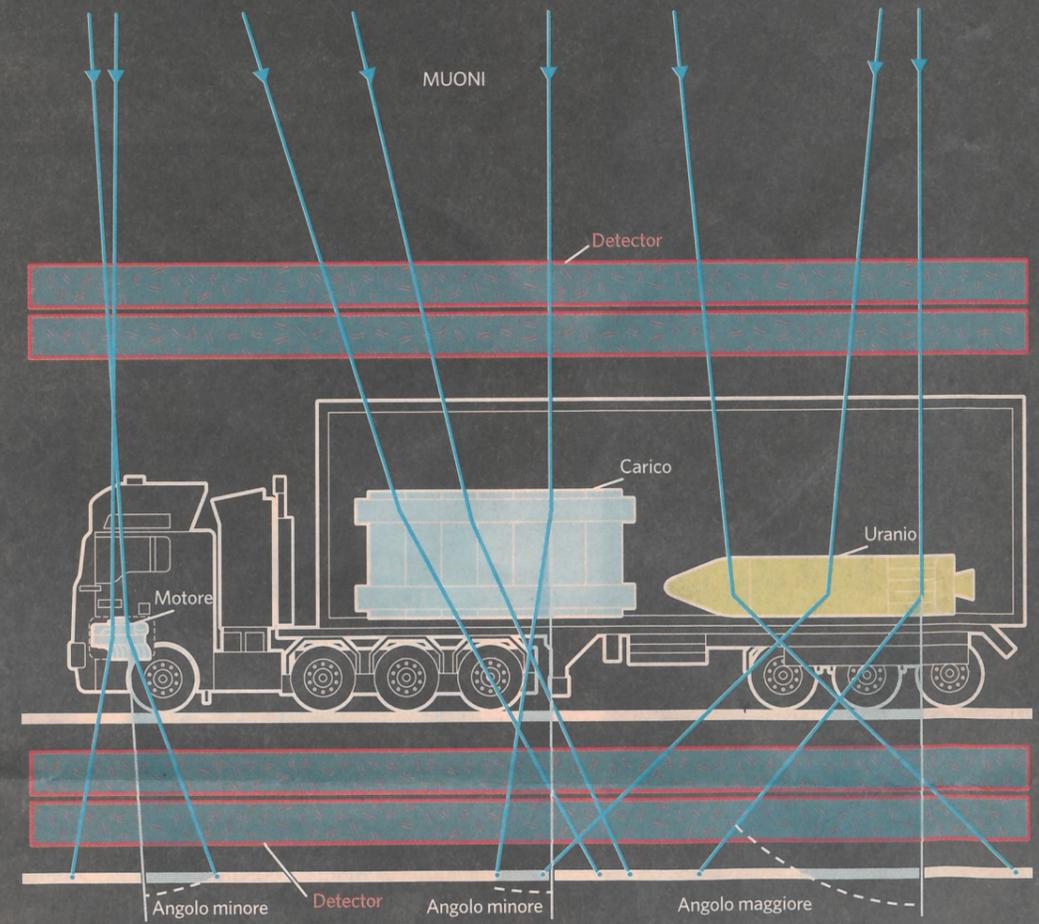




- La tomografia muonica è stata sviluppata nel 2003 nei laboratori di Los Alamos. Le sue applicazioni, finora riguardano:
- **L'ispezione di treni e camion** per rilevare materiale nucleare (tra cui anche il progetto Muon Portal dell'Università di Catania)
  - L'ispezione del nocciolo danneggiato del reattore di Fukushima
  - Il controllo del materiale in arrivo nelle acciaierie (progetto europeo MuSteel, di cui ha fatto parte l'Italia)
  - L'ispezione dell'interno degli altoforni (progetto europeo MuBlast, di cui fa parte l'Italia)
  - Monitorare la stabilità di **edifici storici** (Progetto Monster&Co dell'Università di Brescia)

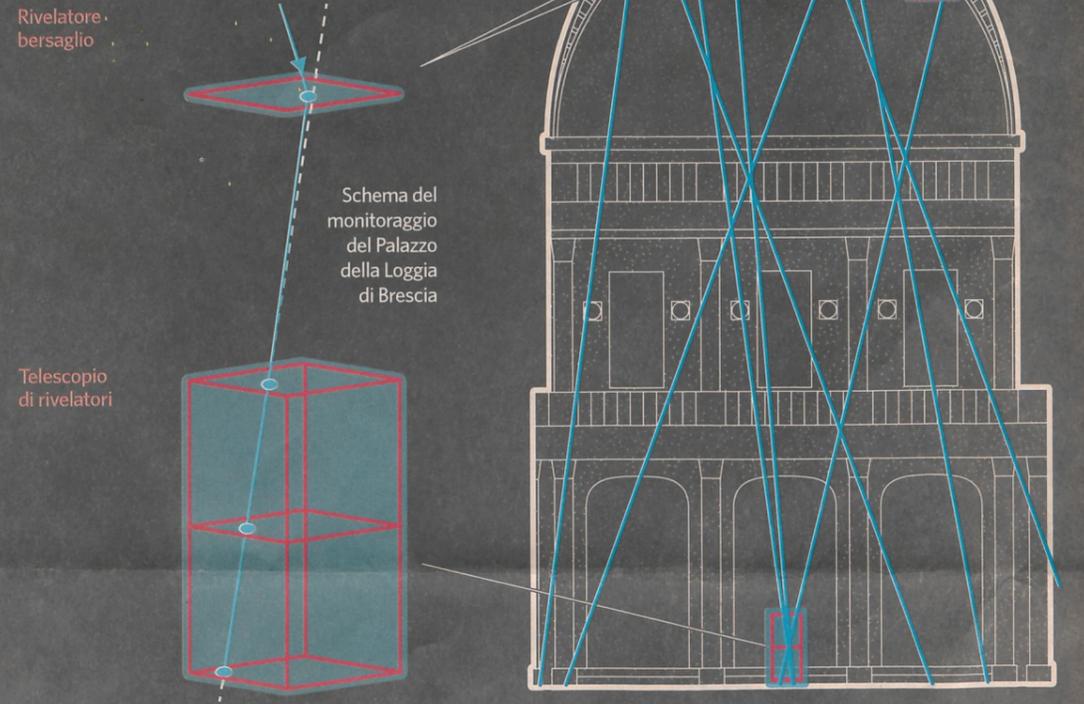
**ISPEZIONE DI TRENI E CAMION**

Il volume da ispezionare, per esempio il contenuto di un container o del cassone di un camion, viene posizionato tra i due rivelatori di raggi cosmici (uno sopra e uno sotto). Misurando l'angolo di ingresso e di uscita di ogni singolo muone è possibile, con una statistica sufficiente e mediante l'utilizzo di un complesso software di ricostruzione tomografica, risalire alla geometria e alla densità dei materiali contenuti nel volume. Sostanzialmente si sfrutta il fenomeno fisico per cui le traiettorie dei muoni vengono in media deviate maggiormente dai materiali più densi. Sebbene le deviazioni dipendano dall'energia di ogni singolo muone, che in genere non è nota, si sfrutta il fatto che la distribuzione di energia dei raggi cosmici è conosciuta. Questa tecnologia viene chiamata tomografia muonica. Inoltre, se lo spessore attraversato è sufficientemente grande, il muone può venire assorbito e non raggiungere il secondo rivelatore. Anche il numero di raggi che attraversano il volume tra i due rivelatori fornisce quindi una ulteriore informazione ai fini dell'indagine



**MONITORAGGIO DELLA STABILITÀ DI EDIFICI STORICI**

Misurando i punti di passaggio delle traiettorie dei muoni su un rivelatore di cosmici bersaglio, situato nel punto da monitorare, e su un telescopio di rivelatori vincolato alla struttura dell'edificio, è possibile stimare lo spostamento sistematico del bersaglio mobile rispetto al telescopio fisso



P Radiazione | Tomografia muonica | Vulcani

# Scrutare l'invisibile attraverso i raggi cosmici

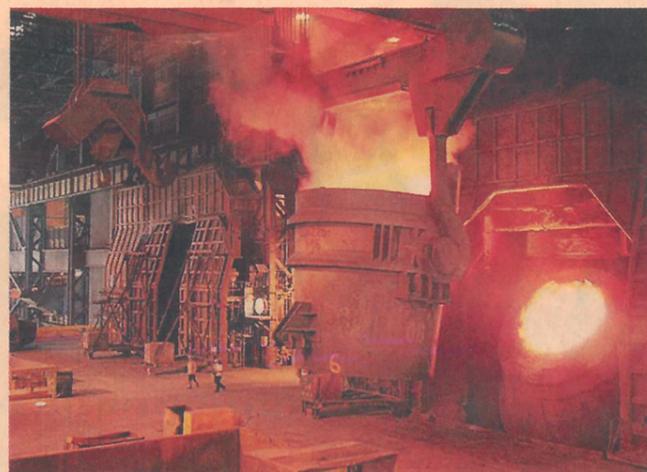
Tra le applicazioni: sistemi di controllo di camion e container, stabilità degli edifici, monitoraggio di scorie radioattive

di Germano Bonomi

Quattro eroici avventurieri, nel corso di una missione spaziale, vengono investiti da una tempesta di raggi cosmici che modifica per sempre la loro struttura cellulare, trasformandoli nella Donna Invisibile, nella Torcia Umana, nella Cosa e in Mr. Fantastic. È l'immaginario storia raccontata nel mitico numero 1 del fumetto "The fantastic four!" pubblicato nel 1961. Ma questi fantomatici raggi cosmici esistono davvero? Hanno realmente il potere di modificare la struttura del nostro Dna?

Qualche anno dopo, nel 1970, il premio Nobel per la Fisica Luis W. Alvarez e i suoi colleghi utilizzano i raggi cosmici per determinare la struttura interna della piramide di Chephren alla ricerca di camere segrete (non trovandone). Da qui si incomincia a pensare di utilizzarli per "vedere" all'interno di strutture altrimenti non accessibili.

Ma cosa sono i raggi cosmici? I raggi cosmici primari sono particelle che provengono dal cosmo e che colpiscono continuamente il nostro pianeta interagendo con le molecole dell'alta atmosfera e generando cascate di particelle. I componenti di questi sciami vengono chiamati genericamente raggi cosmici secondari. Molti decadono in volo, mentre alcuni, per lo più muoni, particelle elementari simili agli elettroni, ma circa 200 volte più pesanti, sopravvivono sino all'livello del suolo. Nel seguito useremo per semplicità, sebbene impropriamente, i termini raggi



**Tomografia muonica.** Quando interagiscono con la materia i raggi cosmici rallentano e deviano la loro traiettoria originale. Misurando l'angolo d'ingresso e di uscita è possibile ricostruire la geometria e la densità dei materiali contenuti nel volume

cosmici e muoni come sinonimi. La scoperta della radiazione cosmica risale all'inizio del XX secolo quando Victor Hess si accorse, grazie all'utilizzo di palloni aerostatici, che la radioattività naturale è maggiore quando ci si allontana da terra. Sebbene sembrasse molto strano era chiaro che, oltre alla radioattività proveniente dal suolo, dall'alto giungeva a noi una qualche altra forma di radiazione.

Quando interagiscono con la materia i raggi cosmici vengono rallentati e deviati dalla loro traiettoria originale. L'entità del rallentamento e della deviazione dipendono dall'energia del muone, dallo spessore e dal tipo di materiale attraversato. Gli effetti sulla materia sono in genere trascurabili, sebbene possano dare origine a rumore nei dispositivi elettronici e determinare modifiche a livello del Dna (non certo però nella maniera ipotizzata dai creatori dei Fantastici Quattro). In questo senso potrebbero anche aver favorito l'evoluzione umana e la grande varietà biologica del nostro pianeta.

Se a livello del mare il flusso dei raggi cosmici è di circa 10.000 particelle al metro quadrato per minuto, in altre parole circa

600 muoni attraversano il nostro corpo ogni minuto, sulla cima dell'Everest l'intensità è 100 volte maggiore. Per questo motivo i piloti di aerei sono dotati di dosimetri personali e non possono superare un certo numero di ore di volo. Oltre l'atmosfera la radiazione cosmica diventa così intensa che risulta particolarmente dannosa per il corpo umano. Questo, tra l'altro, è uno dei fattori limitanti, ancora irrisolti, nella programmazione di viaggi umani verso Marte.

In fisica nucleare e delle particelle, i raggi cosmici vengono utilizzati come strumenti per mettere a punto i rivelatori di particelle. Questo know-how ha permesso, a partire dagli anni 50' e 60' e con maggior frequenza negli ultimi decenni, un technology-transfer per impieghi in ambito civile. Oltre alla scansione della piramide di Chephren, i raggi cosmici sono stati utilizzati per misurare lo spessore di roccia sovrastante un tunnel e per sondare e monitorare l'interno di vulcani.

Queste applicazioni si basano sul fatto che attraversando un certo volume alcuni muoni vengono assorbiti; se il materiale non è trop-

po denso o spesso, misurando il numero di raggi cosmici che "sopravvivono", si può stimare la composizione del volume. Nel 2003, ricercatori del laboratorio di Los Alamos hanno invece proposto di sfruttare le deviazioni delle traiettorie dei muoni. Misurando l'angolo di ingresso e di uscita di ogni singolo muone è possibile, con una statistica sufficiente e un complesso software di visualizzazione tomografica, ricostruire la geometria e la densità dei materiali contenuti nel volume. Questa tecnologia viene chiamata tomografia muonica.

Molti sono gli studi che negli ultimi anni, un po' in tutto il mondo, hanno preso spunto da questa idea originale. In Italia, nei Laboratori Nazionali di Legnaro dell'Infn (Istituto nazionale di fisica nucleare) è stato realizzato il primo dimostratore al mondo di grandi dimensioni, circa 10 metri cubi, e numerosi sono i gruppi impegnati in questo campo di ricerca. Tra le applicazioni possiamo citare i sistemi di controllo di camion e container, per l'individuazione di materiale nucleare, di monitoraggio di depositi di scorie radioattive e di controllo della stabilità di edifici storici. La tomografia muonica è stata anche utilizzata per ispezionare il nocciolo di uno dei reattori danneggiati della centrale nucleare di Fukushima.

Sebbene queste tecnologie siano ancora in fase di sviluppo è possibile prevedere che nei prossimi anni avranno una ricaduta sulla nostra vita di tutti i giorni, grazie a un processo lento ma virtuoso che travasa le conoscenze dal campo della ricerca fondamentale al mondo civile. Le possibilità di sviluppo sono notevoli dal momento che i raggi cosmici sono praticamente presenti ovunque e in ogni istante. In genere non ci accorgiamo della loro presenza, tuttavia, in particolari condizioni, danno un segnale della loro esistenza: intrappolati nel campo magnetico terrestre interagiscono con l'atmosfera nelle vicinanze dei poli, dando vita a quello splendido spettacolo delle aurore boreali.

P Progetti europei | Applicazioni | Prototipo

## Nel cuore dell'altoforno a caccia di radioattività

di Gianni Zumerle

Misurando l'assorbimento dei raggi cosmici si possono ottenere immagini, analogamente a quanto si fa con i raggi X. Per l'elevato potere di penetrazione dei muoni nella materia, questa tecnica rende possibile studiare l'interno di masse enormi, quali un vulcano, un sito archeologico o una centrale nucleare. In Italia, per esempio, si sta studiando la struttura interna del Vesuvio, con lo scopo di prevedere le caratteristiche di un'eventuale eruzione. Viceversa, proprio per la difficoltà di fermare i muoni, è difficile studiare oggetti della vita quotidiana: sarebbe necessario tenerli immobili per periodi di alcuni giorni.

Il punto di svolta avvenne nel 2003, con la dimostrazione che anche i muoni non assorbiti si possono utilizzare per produrre immagini, a patto di misurarne con precisione la deviazione di traiettoria. Diventava così possibile esplorare in tempi brevi oggetti di non grandi dimensioni, quali un veicolo o un container.

Questa nuova tecnologia, chiamata tomografia muonica per la capacità di produrre immagini tridimensionali, è particolarmente efficace nell'individuare materiali molto densi, per esempio i materiali fissili o gli schermi utilizzati per celarne la presenza. Questo ha indirizzato i primi studi verso lo sviluppo di sistemi di controllo nei siti di stoccaggio di materiali radioattivi per evitarne l'asportazione fraudolenta e alle frontiere per impedire il contrabbando di materiale fissile da parte di gruppi terroristici.

Alcuni gruppi di ricerca italiani, in particolare a Padova, Brescia e Genova, iniziarono da subito a esplorare le potenzialità della tecnica, sfruttando la competenza nella costruzione e nell'utilizzo di grandi rivelatori di muoni, acquisita nella ricerca di base sulle particelle elementari al Cern di Ginevra. La qualità dei risultati ottenuti è stata riconosciuta con l'approvazione e il finanziamento da parte dell'Unione europea di due progetti di ricerca per lo sviluppo di applicazioni

nell'ambito dell'industria dell'acciaio.

Il primo cerca di risolvere un problema annoso nel processo di riciclo dei rottami metallici: la fusione accidentale di sorgenti "orfane", cioè di sorgenti radioattive di cui, per i motivi più vari, si è persa la tracciabilità. Si stima infatti che del mezzo milione di sorgenti commercializzate nella Ue negli ultimi 50 anni, circa 30.000 non siano più tracciate. Per questo possono finire mescolate a rottami e inviate alla fusione, con potenziali pericoli per gli operatori e il territorio circostante, oltre a gravi danni economici per gli impianti. La statistica media degli incidenti in Europa è di circa 4-5 fusioni accidentali l'anno. Ebbene, lo studio ha dimostrato che facendo passare un camion carico di rottami attraverso due rivelatori di raggi cosmici e analizzando i dati con il software sviluppato per questa applicazione, un'eventuale sorgente può essere localizzata in pochi minuti.

L'altro progetto riguarda il funzionamento degli altoforni. Queste enormi strutture, alte circa 40 metri e larghe la metà, processano alcune decine di migliaia di tonnellate di materiale al giorno. Gli interventi per mantenere efficiente il processo sono decisi solo sulla base di informazioni ottenute da sensori esterni o dall'analisi dei fumi, essendo finora impossibile vedere cosa succede all'interno della fornace. Con i raggi cosmici è invece possibile produrre un'immagine della distribuzione interna della densità del materiale, come il progetto ha dimostrato attraverso accurate simulazioni. Sarà prossimamente presentato un nuovo progetto di ricerca con l'obiettivo di costruire dei prototipi di rivelatori e provare l'efficacia del metodo con un vero altoforno.

Un'ulteriore linea di ricerca, tutta italiana, è infine quella che sta valutando la possibilità di utilizzare i raggi cosmici per monitorare la stabilità statica di manufatti a sviluppo verticale come edifici storici, torri, piloni e ponti, misurando la posizione relativa di parti delle strutture, quando sia difficile o impossibile farlo con i tradizionali mezzi ottici.

## Startup Factories e Acceleratori d'Impresa

### Chi semina idee raccoglie Startup. Gli acceleratori d'impresa motori dello sviluppo

Italia paese di invenzioni. Enzo Tortora a Portobello ne presentava a decine in tv e oggi continuiamo a essere cervelli in eruzione con uno strumento in più: gli acceleratori d'impresa. Sono padri putativi, degli amici che danno la mano e conducono l'imprenditore verso la concretizzazione del progetto evitando che commettano troppi errori, dando spazi, risorse umane ed economiche, rete di conoscenze fino a che l'idea raggiunge la maggiore età e può varcare la soglia del mondo dell'innovazione per entrare in quello dei grandi, incontrare i fondi di venture capital e far crescere quello che era solo un piccolo seme.

Annalisa Caccavale - Responsabile comunicazione AIFI

### Superpartes, digital transformation e Startup. Da Brescia la sfida dell'IoT e della fabbrica 4.0

Un Campus dove le startup che fanno Internet of Things trovano strutture e risorse per crescere; un Laboratorio al quale le imprese si rivolgono per sperimentare nuove soluzioni di trasformazione digitale; una Universitas che forma i giovani-digitali e li mette in contatto con le aziende. Questo è Superpartes Innovation Campus, società bresciana (ha sede in via Stassano) che opera con successo grazie alle competenze e alla passione di un gruppo di persone che da anni ricerca e lavora nel perimetro del digitale, dall'elettronica all'informatica, passando per le nuove forme di comunicazione. A dargli vita sono Gianfausto Ferrari (presidente), Marino Piotti (ceo), Fulvio Primatesta, Luca Salgarelli, Marco Strepavara. L'obiettivo: ispirare e supportare gli sviluppatori talentuosi a far partire la propria iniziativa; far emergere e interpretare il bisogno di innovazione del sistema industriale; sviluppare progetti autonomi e nuove aziende. Le start up che il Campus sta incubando sono molte: Branditylab, design per la digital brand experience; Follio, intelligenza artificiale e archivio per gestire scontrini, fatture e bollette; RetAPPs, soluzioni per il retail basate sull'utilizzo di smartphone per l'acquisto in-store e out-of-store; CheckAPP competenze in diversi settori dell'healthcare; Codermine,



Superpartes  
Vita nel campus: startup e imprese a confronto

progetta e realizza software e applicazioni ios e Android. Tra le ultime nate, due quelle di punta: 1Control e Inxpect. 1Control fornisce e produce soluzioni di home automation senza necessità di installazioni. Il prodotto di punta è SOLO, un dispositivo grazie al quale il telecomando viene sostituito dallo smartphone. Inxpect rappresenta il futuro della motion technology. Realtà innovativa fin dagli esordi, al punto da suscitare l'interesse della Silicon Valley dove sono in corso trial tecnici, Inxpect inventa, progetta e realizza sensori intelligenti di movimento basati su radar di ultima generazione. Tre i mondi che Inxpect presidierà con la prima generazione dei suoi sensori: quello domestico, quello della sicurezza antintrusione, quello della sicurezza industriale. - [www.superpartes.biz](http://www.superpartes.biz)

### Day One: Funding + Business Development x Startup

Se incubazione vi fa pensare al raffreddore e accelerazione a una sbandata fuori pista, la soluzione è Day One: il luogo in cui i ricercatori possono dar vita a nuovi prodotti insieme alle aziende, che saranno i loro futuri clienti, e diventare imprenditori lanciando start-up. Day One ha messo d'accordo tutti: multinazionali che chiedono innovazione, investitori alle prese con fantastici business plan ma senza exit, e aspiranti start-upper con la voglia di sviluppare prodotti che i loro clienti stanno solo sognando. Da gennaio Day One sceglierà le migliori tecnologie e sarà per 9 mesi a fianco dei loro ideatori, co-creando nuovi prodotti insieme a gruppi industriali e presentandoli ai suoi



investitori partner. Per innovare davvero #ChangeEverything. [www.day-one.biz](http://www.day-one.biz)

### G2-Startups: Imprese e Startup per un approccio di #InnovationMadeInItaly

G2 è un acceleratore d'impres e startup che ama definirsi un *facilitatore* di processi d'innovazione. "L'innovazione è un processo sistemico: coinvolge più attori che devono collaborare con metodi e approcci definiti; l'innovazione è un tema strategico, va resa stabile in azienda e con risultati misurabili" dice la ceo Roberta Gilardi, oltre 25 anni di esperienza in industria e servizi, esperta di Innovazione strategica, Marketing e Business. L'offerta G2 per le imprese s'ispira all'Open Innovation e ha come driver primario, anche se non unico, le startup, forti vettori esterni che possono accelerare il processo d'innovazione delle imprese attraverso un matching guidato. Nel portfolio G2 vi sono realtà diverse, dal digital, **Meetale.com**, alle eccellenze enogastronomiche italiane, **Ventunoitaly.com**. Grande attenzione di G2 ai territori nella consapevolezza che talenti e iniziative di valore nascono ovunque: così nasce **Acceleratio** di G2 ([www.acceleratio.it](http://www.acceleratio.it)) che ha come mission la creazione di



G2-Startups  
Roberta Gilardi, Founder - CEO

micro-ecosistemi di innovazione basati su risorse presenti nei territori. G2 ha partecipato con successo a SMAU Milano 2016, ora interverrà a *Innovare Per Competere*, [www.innovarepercompetere.com](http://www.innovarepercompetere.com), che si terrà a Bologna il 1° dicembre 2016. [www.g2-startups.com](http://www.g2-startups.com)



### Wylab, il Primo Sports Tech Incubator in Italia. La vincente esperienza di Wyscout come modello

Wylab, inaugurato a Chiavari nel mese di febbraio, è il primo Sports Tech Incubator in Italia nato con l'obiettivo di costituire un centro di eccellenza per lo sviluppo e la crescita di startup attive nel settore sportivo, ad elevatissima connotazione tecnologica e orizzonte internazionale. Wylab si ispira e collabora a stretto contatto con Wyscout, startup che in pochi anni si è trasformata in azienda consolidata e riconosciuta a livello mondiale nel settore calcistico. Alla Call for Ideas hanno risposto 70 startup (15% estere); 8 startup hanno partecipato al periodo di preincubazione (4 mesi) e 5 saranno incubate; vi sono inoltre 15 startup in fase più



avanzata che Wyscout supporta per una accelerazione sul mercato. Gli startupper sono affiancati da giovani professionisti operanti nel settore digitale, ospitati nella parte di co-working. [www.wylab.net](http://www.wylab.net)

# Uno sciame di particelle all'origine della vita?

di Roberto Mussa

Lo studio dei raggi cosmici è tra i settori più fertili della fisica moderna. Essi sono particelle cariche, distribuite su un enorme intervallo di energie, che a ogni istante bombardano la terra. Il Sole è responsabile di gran parte della produzione dei raggi cosmici generando un flusso di elettroni, protoni e nuclei di elio di bassa energia, chiamato vento solare. Occasionalmente, in prossimità delle macchie solari, si hanno tempeste magnetiche che accompagnano l'espulsione di fiotti di particelle di maggiore energia, che nelle regioni polari possono dare origine al fenomeno delle aurore. Oltre alle particelle provenienti dal Sole, c'è una frazione più energetica e scientificamente più interessante che giunge a noi da sorgenti lontane sia dall'interno della nostra Galassia sia dallo spazio profondo. Queste particelle raramente raggiungono la superficie della terra, perchè sono deviate o intrappolate dal campo magnetico terrestre. Indipendentemente dalla loro origine, i raggi cosmici interagiscono con i nuclei di azoto e ossigeno negli strati alti dell'atmosfera, producendo sciame di particelle che, se l'energia del primario è sufficientemente elevata, possono arrivare a livello del mare, e addirittura penetrare strati di roccia. Diversamente dalla luce delle stelle e delle galassie, che ci raggiunge con un percorso rettilineo, i raggi cosmici di origine extrasolare, elettricamente carichi, sono influenzati, nel loro cammino, dall'azione dei campi magnetici prodotti dai corpi celesti, che deviano il loro percorso e ci impediscono di identificarne le sorgenti. È altamente probabile che la maggioranza dei raggi cosmici venga prodotta, all'interno della nostra galassia, durante le esplosioni delle supernovae.

Recentemente, il satellite Ace della Nasa ha osservato nei raggi cosmici un isotopo radioattivo del ferro (Fe-60) con una vita media di pochi milioni di anni. Questa scoperta, assieme allo studio dei fossili, suggerisce che due recenti estinzioni di massa, avvenute rispettivamente 2 e 8 milioni di anni fa, possano essere state causate dall'esplosione di supernovae a circa 300 anni-luce dalla Terra. In che modo? Un grande aumento della loro intensità a livello del mare può avere distrutto il

plancton che vive in superficie. D'altra parte, la presenza di radiazione ionizzante sulla superficie terrestre può anche avere accelerato il tasso naturale di mutazioni genetiche, favorendo l'evoluzione della vita e la comparsa di nuove specie.

Inoltre, i raggi cosmici hanno un ruolo nella formazione di nuvole, e nella conseguente riduzione dell'irraggiamento solare che causò le glaciazioni che precedettero l'arrivo dell'Uomo. Le esplosioni di supernove non sono però gli eventi più energetici del nostro Universo: fuori dalla nostra galassia, esistono fenomeni ancora più violenti, che producono i raggi cosmici ultraenergetici, la cui natura e origine è ancora un mistero.

Alla caccia di questi formidabili acceleratori naturali, scienziati da tutto il mondo, in maggioranza tedeschi, italiani e argentini, hanno costruito, nella pampa argentina, l'Osservatorio Pierre Auger. Dall'inizio del nuovo millennio, 1600 rivelatori, distribuiti su una superficie di 3000 chilometri quadrati, rivelano il segnale prodotto dai raggi cosmici ultraenergetici, alla ricerca di eventuali sorgenti nell'emisfero meridionale del cielo. E ora, giapponesi e statunitensi sono impegnati nell'espansione di un altro Osservatorio, il Progetto Telescope Array, nel deserto dello Utah, per scrutare l'altra metà del cielo.

Un altro aspetto interessante relativo ai raggi cosmici è il loro legame con l'antimateria. La scoperta (1932) dell'anti-elettrone, o positrone, nei raggi cosmici secondari, portò il fisico Usa Carl Anderson a condividere con Victor Hess il Premio Nobel della Fisica del 1936, a riconoscimento dell'enorme importanza di questi studi nella comprensione profonda della natura. L'anti-materia cosmica non finisce di sorprenderci: nell'ultimo decennio, il satellite italo-russo Pamela ha scoperto un'anomalia nel flusso dei positroni nei raggi cosmici primari che potrebbe dare una risposta all'enigma della natura della materia oscura. Dal 2011, nella stazione spaziale internazionale è stato quindi installato Ams-2, un rivelatore di particelle che condensa in poche tonnellate di peso tutte le tecnologie sviluppate per la fisica subnucleare, per approfondire le nostre conoscenze sull'antimateria cosmica. Chissà se, oltre alla materia oscura, non finiremo per scoprire un anti-mondo da qualche parte nell'universo?