

AL FERMILAB DI BATAVIA (USA) UNA RICERCATRICE SPERIMENTA L'USO DI UN LASER PER IL TRATTAMENTO DEI TUMORI (CORBIS)

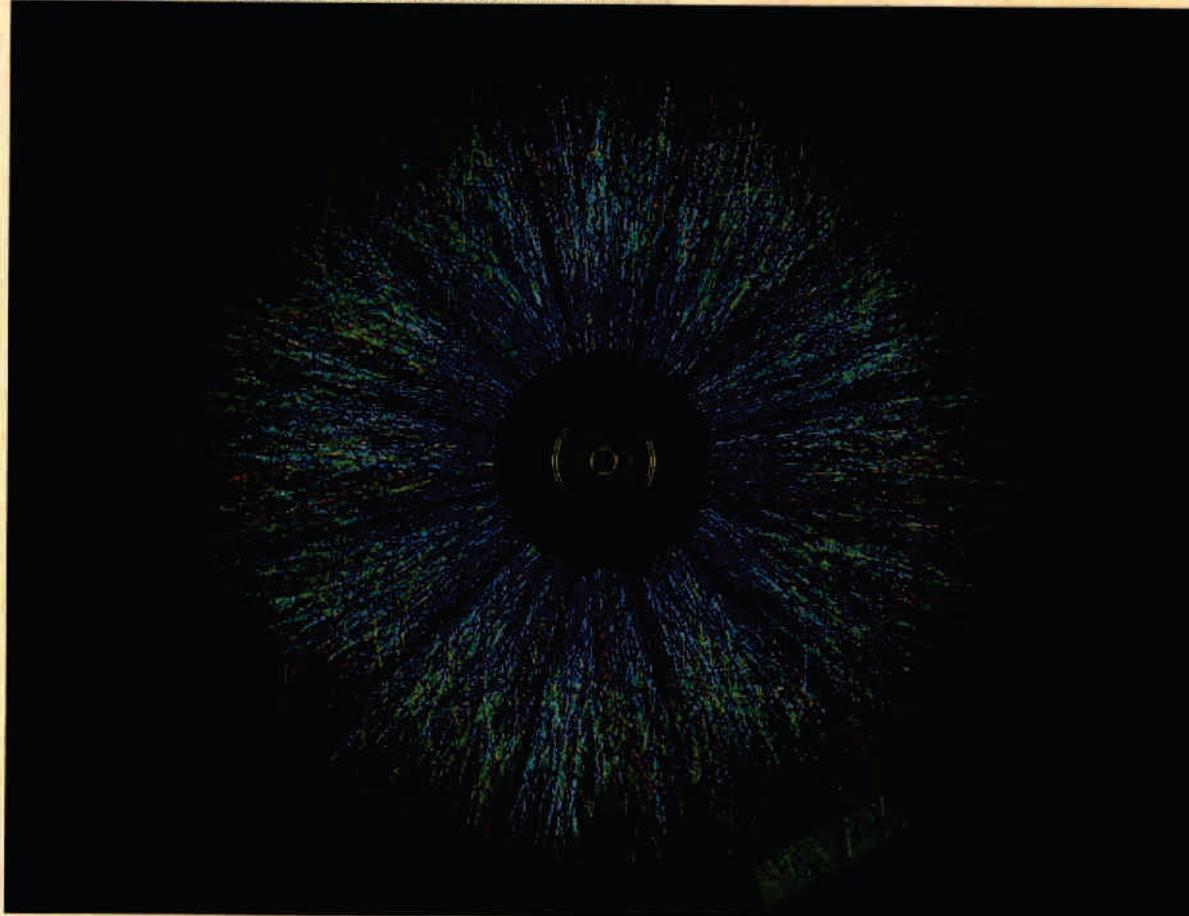


# CHE COSA CI FACCIAMO

*Particelle invisibili, ma che stanno cambiando la nostra vita*

FISICA DELLE PARTICELLE CHE COSA CI FACCIAMO

SEGNI DELLA PRODUZIONE DI PLASMA DI QUARK E GLUONI, PRESSO L'LHC



# LA RIVOLUZIONE DEL SINCROTRONE

*Non c'è solo l'Lhc del Cern: sono migliaia gli acceleratori più piccoli utilizzati in ogni settore: dall'elettronica alla farmaceutica passando per la terapia medica*

**di Guido Romeo**

**S**e, quando sentite parlare di fisica delle particelle e acceleratori, pensate a buchi neri e ricercatori irsuti e insonni con i sandali ai piedi siete fuori strada. Le tecnologie e le conoscenze prodotte da questo ramo della fisica sono ormai una parte irrinunciabile del nostro mondo con applicazioni e ricadute che continuano a espandersi e aumentare d'impatto. Da questo settore sono già nati il web, ideato da Tim Berners Lee proprio per permettere ai ricercatori del Cern di scambiarsi meglio tra loro i risultati degli esperimenti sui ciclotroni, ma la varietà degli spin-off della ricerca nella fisica delle alte energie è in continua crescita. Ma soprattutto, a chi storce il naso di fronte ai budget della "big science", innegabilmente rilevanti quando si ha a che fare con macchine come il Large hadron collider costato 7,5 miliardi di euro, va ricordato l'impatto della ricerca fisica sull'economia nazionale.

Il programma europeo per la ricerca Horizon 2020 ha già evidenziato il ruolo cruciale di questo settore come motore economico-industriale, ma a livello italiano le cifre sono ancora più eloquenti. Nel suo complesso, in Italia la fisica è direttamente responsabile del 7,4% del prodotto interno lordo, circa 118 miliardi di euro, e dà lavoro a oltre un milione e mezzo di persone, in pratica il 6% della popolazione occupata. La fotografia, scattata da Deloitte nel suo rapporto "The impact of physics in the Italian economy" è basata su un'originale analisi quantitativa condotta con la metodologia Leontieff applicata agli ultimi dati Istat disponibili, quelli relativi al

periodo 2008-2011. Un periodo decisamente molto delicato per il sistema italiano poiché coincide proprio con gli anni più duri della crisi.

Anche il settore dei business legati alla fisica ha accusato il colpo, ma ha mostrato decisamente più resilienza rispetto ad altre parti dell'economia nazionale.

La produttività, misurata come fatturato annuo per lavoratore, si è infatti dimostrata di 78mila euro l'anno, superiore alla media nazionale di almeno il 22% e il valore aggiunto è cresciuto del 2,5%, mentre la media nazionale registrava una contrazione dell'1,5 per cento. Ancor più illuminante è il peso relativo nelle aree industriali che vede un settore preminente del "made in italy" come il manifatturiero assorbire praticamente la metà (49%) delle innovazioni della ricerca fisica. Più staccati il settore trasporti e comunicazioni (22%) e le utilities (18%), mentre i servizi per il business (8%) potrebbero sicuramente essere sviluppati ancora. All'impatto diretto va poi aggiunto l'indotto che coinvolge altri settori con 1,4 milioni di posti di lavoro nel retail, ristorazione e catering, 340mila nei servizi, 220 mila nell'edilizia e 90mila nella finanza.

Il pieno potenziale della fisica come motore dell'economia italiana promette però di crescere ancora moltissimo. Come per il Gps o l'internet, originalmente sviluppate per scopi militari, anche le tecnologie nate per servire la ricerca di base stanno infatti assumendo un'importanza crescente nei mercati e nelle produzioni di massa perché vanno spesso a migliorare ed espandere mercati e set-



**Il valore percentuale del Pil che si può ascrivere alla fisica, pari a 118 miliardi di euro, dando lavoro a oltre un milione e mezzo di persone**

## DALLE COLLISIONI AL BOSONE

Il Large Hadron Collider, situato presso il Cern di Ginevra, è il più grosso e potente acceleratore di particelle mai realizzato al mondo. Ecco le tappe principali della sua storia

**2008** **10 SETTEMBRE** I primi protoni circolano nell'Lhc  
**19 SETTEMBRE** L'Lhc si ferma per un incidente causato da un guasto a una connessione elettrica tra magneti

### RUN 1

**2009** **21 NOVEMBRE** Lhc riparte dopo una pausa di circa un anno per i lavori di riparazione  
**23 NOVEMBRE** Prime collisioni nei quattro esperimenti  
**30 NOVEMBRE** I fasci sono accelerati di 1,18 TeV: è il primo record mondiale dell'Lhc

**2010** **19 MARZO** Raggiunta l'energia di 3,5 TeV per fascio  
**30 MARZO** Prime collisioni a 7,5 TeV  
**8 NOVEMBRE** Prime collisioni con fasci di ioni

**2011** **22 APRILE** Record mondiale di intensità di fasci

**2012** **5 APRILE** Prime collisioni a 8 TeV  
**4 LUGLIO** Gli esperimenti di Atlas e Cms annunciano la scoperta del bosone di Higgs  
**28 SETTEMBRE** Record di un milione di miliardi di collisioni a Atlas e Cms

**2013** **14 FEBBRAIO** Si spegne Lhc, termina il Run 1 e comincia il "long shutdown 1"  
**8 OTTOBRE** Il premio Nobel per la fisica è assegnato a Francois Englert e Peter Higgs per aver teorizzato l'esistenza del bosone di Higgs

**2014** **4 NOVEMBRE** L'italiana Fabiola Gianotti è nominata direttore generale del Cern (in carica dal 2016)

### RUN 2

**2015** **MARZO** L'Lhc inizia il Run 2  
**21 MAGGIO** Prime collisioni a 13 TeV

tori già a fortissimo valore aggiunto e con un mercato globale.

**L'universo degli acceleratori.** Prendiamo, per esempio, gli acceleratori di particelle. C'è naturalmente l'Lhc che si è meritato la fama mondiale per aver catturato, a pochi mesi dalla sua accensione, la particella di Dio (ed essere finito anche nei libri di Dan Brown), ma ci sono migliaia di acceleratori più piccoli utilizzati in ogni settore. L'industria dei semiconduttori, per esempio, utilizza fasci di particelle generati da elettroni per impiantare ioni specifici nei chip di silicio al fine di ottenere prestazioni migliori nell'elettronica di consumo, dai computer, agli smartphone e alle console di videogame. La ricerca farmaceutica utilizza i raggi di luce dei sincrotroni, come per esempio quelli del triestino Elettra, per migliorare la precisione e abbattere i costi dell'analisi di proteine utili nello sviluppo di farmaci contro alcuni dei maggiori killer mondiali come malaria, cancro, diabete e Hiv. Una ricerca che talvolta viene anche coronata da un premio Nobel come quello per la chimica nel 2009, assegnato per la scoperta - grazie a fasci di particelle - di come i ribosomi traducono l'informazione contenuta nel nostro Dna in cellule viventi. Nell'industria plastica l'impiego di acceleratori di ottenere le pellicole per alimenti che ormai sono divenuti ubiqui in abitazioni e supermercati.

E non è finita, perché ci sono molti settori dove l'uso di acceleratori è solo all'inizio. L'industria dello smaltimento dei rifiuti atomici ne sta valutando l'adozione per abbattere i co-

## CRISTALLOGRAFIA

# VEDERE L'IMPOSSIBILE

schede a cura di **Andrea Carobene**

### MAPPATURA

#### Raggi X contro lo pneumococco

Un gruppo di ricercatori dell'Università di Leicester ha annunciato di essere riuscito per la prima volta a realizzare la mappa dettagliata della pneumolisina, la tossina prodotta dallo *Streptococcus pneumoniae*. Questo batterio, conosciuto anche come pneumococco, è responsabile di alcune infezioni respiratorie e anche della meningite. Per realizzare la mappa, che ha risoluzione atomica, i ricercatori hanno utilizzato la tecnica della cristallografia a raggi X, scoprendo non solamente la struttura della tossina, ma anche come questa agisce assemblandosi sulla superficie delle cellule che attacca. Il risultato apre nuove speranze per la terapia contro polmonite batterica, meningite e setticemia.

### PROCESSI

#### Proteine in crescita

Servendosi della radiazione a raggi X e analizzando le figure di rifrazione generate, un gruppo internazionale di biofisici

è riuscito a determinare la modalità di cristallizzazione della batteriorodopsina, una proteina utilizzata come membrana da alcuni batteri. Il team di ricercatori dell'Istituto di fisica e tecnologia di Mosca, ha osservato atomo per atomo il processo di crescita della proteina, dimostrando che questa accumula cristalli prelevandoli dall'ambiente circostante, creando contemporaneamente una zona di difesa attorno a sé. La scoperta, descritta sulla rivista "Crystal Growth&Design", potrà aiutare a sviluppare nuovi farmaci per particolari classi di batteri.

### ENZIMI

#### L'importanza delle vibrazioni

Servendosi di tecniche di cristallografia e della risonanza magnetica nucleare, un gruppo di ricercatori ha dimostrato che le vibrazioni degli enzimi svolgono un ruolo importante nell'attività proteica. Gli studiosi sono riusciti a misurare le oscillazioni di queste molecole con un tempo di risoluzione di un milionesimo di secondo, verificando che quando le frequenze cambiano, anche l'attività enzimatica varia di

conseguenza. Il fenomeno non era stato ancora studiato e potrebbe, secondo gli studiosi, spiegare anche alcuni fallimenti nelle stesse tecniche di ingegnerizzazione delle proteine. Lo studio è stato realizzato sotto il coordinamento di Donald Gagné, del Cuny Advanced Science Research Center di New York.

### VIRUS

#### Le connessioni dell'Rna

Attraverso l'uso congiunto della cristallografia a raggi X, della spettroscopia nucleare a risonanza magnetica e dello scattering su piccolo angolo dei raggi X, un gruppo di ricercatori è riuscito a individuare il meccanismo che permette alla proteina umana hnRNP A1 di legarsi all'acido ribonucleico. La scoperta è stata ottenuta grazie a una collaborazione tra la Case Western Reserve University di Cleveland e l'Università del Michigan. Il risultato, pubblicato sul "Journal of Molecular Biology", è frutto di sei anni di ricerca e potrebbe fornire suggerimenti preziosi per bloccare la replicazione di alcuni virus e combattere malattie come l'Hiv.

## ACCELERATORI

# A SOSTEGNO DELL'INDUSTRIA

### MINIATURIZZAZIONE

#### L'accelerazione in scatole da scarpe

Si chiamano acceleratori su un chip, e potrebbero rappresentare la prossima rivoluzione nell'ambito degli acceleratori di particelle. L'idea è quella di realizzare dei microacceleratori che abbiano le dimensioni di una scatola da scarpe, da utilizzare negli ospedali per terapie mediche, ma anche come scanner di sicurezza negli aeroporti. Il progetto sta attirando investimenti notevoli, e lo scorso novembre la Fondazione Gordon e Betty Moore ha offerto 1,5 milioni di dollari all'Università Stanford per sostenere proprio questo tipo di ricerche. Il progetto, che ha una durata quinquennale, è condotto assieme ai Laboratori dell'acceleratore nazionale statunitense Slac. Secondo Joel England, uno dei ricercatori coinvolti nel programma, la possibilità di rendere gli acceleratori di particelle "molto più piccoli ed economici li democratizzerebbe, rendendoli potenzialmente disponibili a milioni di persone. Non possiamo neppure immaginare le applicazioni creative che si potrebbero trovare per questa tecnologia".

### CATALIZZATORI

#### Il sostituto del platino

Ricercatori dello statunitense Stanford Linear Accelerator Center (Slac) hanno migliorato le capacità reattive del disolfuro di molibdeno, un catalizzatore utilizzato nella raffinazione del petrolio, bombardandolo con un fascio di atomi di argon. L'obiettivo dell'esperimento, descritto sulla rivista "Nature materials", è quello di trovare un potenziale sostituto del costoso platino per le reazioni catalitiche che, ad esempio, consentono di ricavare l'idrogeno per le celle a combustibile. Il disolfuro di molibdeno è un materiale molto più diffuso, e la possibilità di renderlo ancora più reattivo di quello che è attualmente potrebbe aprire un ventaglio di "nuove possibilità che devono ancora essere esplorate", come ha spiegato recentemente il responsabile della ricerca Xiaolin Zheng. Il processo di bombardamento degli atomi di argon ha permesso di modificare la struttura molecolare del catalizzatore, aprendo dei fori che ne hanno aumentato la capacità reattiva. Il prossimo obiettivo della

ricerca sembra essere adesso quello di utilizzare dei fasci di atomi diversi dall'argon, che siano più economici, in modo da semplificare il processo di produzione del nuovo catalizzatore.

### FILTRI

#### Nuovo vetro che è un labirinto

Un nuovo tipo di materiale vetroso è stato recentemente scoperto nei laboratori dell'acceleratore di particelle di sincrotrone nello Oxfordshire, in Inghilterra. L'innovativo vetro viene prodotto mediante la fusione di una famiglia di materiali porosi e si presenta a livello nanometrico con una struttura interna particolarmente complessa, quasi labirintica, che potrebbe essere usata per catturare o filtrare molecole utili o tossiche. Secondo il responsabile della ricerca, Neville Greaves dell'Università britannica di Aberystwyth, il risultato ottenuto consente di comprendere meglio le regole generali che sono alla base della fusione dei materiali. L'esperimento è stato descritto sulla rivista "Nature communication".

sti di processamento delle scorie dei reattori e reimpiegarle in impianti al Torio come quelli immaginati dal Nobel italiano Carlo Rubbia. L'industria della depurazione delle acque sta studiando l'impiego di fasci di particelle per sterilizzare le acque reflue e tagliare le emissioni industriali.

Ma è sul fronte medico che gli acceleratori di particelle sono forse l'esempio più evidente dell'impatto sull'economia e sulla qualità della vita delle innovazioni generate per la ricerca. Come per la ricerca spaziale e militare i capostipiti sono le grandi macchine prodotte da collaborazioni internazionali o progetti di ricerca pubblica. Quasi tutte le tecniche avanzate (raggi X, risonanza magnetica, Pet, Tac e molto altro) con le quali negli ospedali si fa diagnostica medica per immagini provengono dalla fisica delle alte energie. Passando dalla diagnosi alla cura, si può affermare che oggi esistono circa 25mila piccoli acceleratori di particelle dedicati alla cura dei tumori e un numero infinito di appa-

tore dei radiofarmaci, delle radioterapie e di altre terapie basate su raggi ad alta energia. Nel complesso si stima che il valore complessivo dei beni trattati con radiazioni di acceleratori superi i 50 miliardi di dollari l'anno. E solo nel settore biomedicale, gli acceleratori sono responsabili di almeno 100mila trattamenti terapeutici ogni anno negli Stati Uniti, mentre il mercato degli acceleratori non destinati alla ricerca vale, da solo, 3,5 miliardi di dollari.

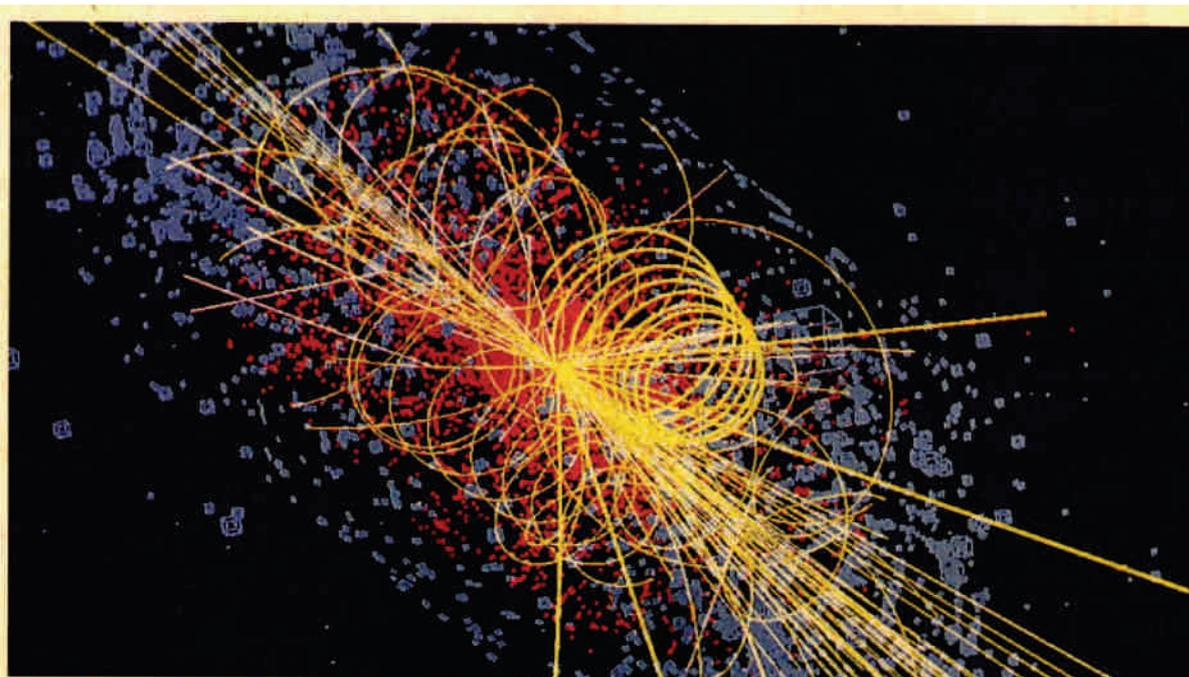
**L'Italia al sincrotrone.** In Italia, anche grazie al lavoro della rete di laboratori dell'Infn non mancano le applicazioni d'avanguardia della fisica al biomedicale. Un settore nel quale l'Italia è particolarmente all'avanguardia con tre centri di adroterapia che utilizzano fasci di particelle per il trattamento dei tumori. Il Cnao, il Centro nazionale di adroterapia oncologica di Pavia, per esempio, è il maggiore dei due centri nella Penisola e uno dei cinque all'avanguardia

## ***Raggi X, risonanza magnetica, Pet, Tac: quasi tutte le tecniche avanzate di diagnostica per immagini derivano dalla fisica dell'energia***

rati di diagnostica medica in grado di rivelare l'insorgenza di malattie gravi anche sul nascere data l'eccezionale risoluzione spaziale che si riesce a raggiungere.

L'adozione crescente di scanner diagnostici sta inoltre spingendo il mercato degli isotopi necessari per gli esami, per non parlare di tutto il set-

nel mondo (gli altri sono in Germania, Cina e Giappone) in grado di produrre fasci di protoni e ioni carbonio utilizzati per distruggere le cellule tumorali grazie all'adroterapia. Questa metodologia utilizza un sincrotrone, un acceleratore di particelle analogo per principio di funzionamento all'Lhc del Cern, ma molto più ridot-



**LA COMPRESIONE DEL BOSONE** Per capire che cos'è il bosone di Higgs scarica l'app di Nova Aj sul tuo smartphone, inquadra l'immagine e potrai vedere il video dell'Istituto nazionale di fisica nucleare

to per dimensioni e potenza. Al suo interno, il sincrotrone scompone gli atomi di carbonio per creare fasci di particelle subatomiche, dette appunto "adroni", trasformandoli così in dei fasci da indirizzare sulle cellule del tumore per distruggerle.

Il sincrotrone del Cnao è collocato in un bunker di 1.600 metri quadrati nel cuore della sede del centro a Pavia, e ha la tipica forma di un anello, ma mentre l'Lhc è un mostro di oltre 27 chilometri di circonferenza, il sistema pavese ne misura appena 25 metri di diametro e 80 di circonferenza. A differenza degli acceleratori dei laboratori di fisica, il sincrotrone del Cnao è stato progettato e realizzato ad hoc per il trattamento clinico dei pazienti. Il sistema è stato realizzato principal-

mente con tecnologia italiana grazie alla collaborazione del Cnao con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, l'Università di Pavia, il Cern stesso, il Gsi (Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, di Darmstadt, in Germania) e il Lpsc (Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie di Grenoble, in Francia).

La costruzione del centro pavese ha coinvolto seicento aziende di cui cinquecento italiane. La realizzazione dei singoli pezzi è stata affidata ad aziende specializzate, mentre il montaggio e l'avviamento sono stati effettuati dal personale del Cnao, in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, il Politecnico di Milano, l'Università di Pavia e il Cern.

Il pregio di questa tecnologia è la sua

**NUOVE TERAPIE**

**PARTICELLE PER LA SALUTE**

**PROTONI**

**Una terapia poco invasiva**

La terapia protonica per combattere i tumori è una tecnica già applicata, ma che continua a suscitare molte speranze. Ne è convinto Nigel Allinson, responsabile del progetto internazionale Pravda (Proton Radiotherapy Verification and Dosimetry Applications), coordinato dall'Università britannica di Lincoln. Il suo gruppo sta lavorando al ciclotrone nazionale del Sud Africa di Città del Capo per produrre la prima immagine dettagliata tridimensionale di un paziente servendosi di un fascio di protoni anziché dei normali raggi X. L'obiettivo specifico è quello di utilizzare i protoni per l'imaging e per le terapie antitumorali, ampliando le possibilità di cura per i pazienti del continente africano. I protoni, infatti, sono in grado di penetrare i tessuti raggiungendo le cellule cancerogene, ma sembrano avere pochi effetti collaterali in quanto danneggiano meno i tessuti sani. Allinson ritiene che la terapia con i protoni costituisca "un approccio migliore per trattare i tumori più difficili, specialmente quelli della testa e

del collo o vicino ad organi vitali". Secondo il ricercatore britannico, l'utilizzo dei protoni è "probabile che possa diventare il metodo di radioterapia preferito", soprattutto perché "l'esposizione indesiderata dei tessuti sani alla radiazione è estremamente ridotta".

**PREVENZIONE**

**Acceleratori contro l'osteoporosi**

Un gruppo di ricercatori di Berna e di Zurigo si è servito dell'acceleratore a spettrometro di massa del Politecnico di Zurigo per determinare la giusta dose di vitamina D da somministrare alle donne anziane con l'obiettivo di poter prevenire l'osteoporosi. Gli studiosi, guidati da Michael B. Zimmermann, hanno potuto misurare con precisione il rapporto tra il calcio-41 e il calcio-40 contenuto in una serie di campioni di urina presi a intervalli regolari, in modo da valutare con precisione la quantità di calcio assorbita dalle ossa e quella invece che era rilasciata e perduta dal corpo dei pazienti. Le stesse analisi sono state ripetute dopo alcuni mesi per verificare l'effetto prodotto dalla somministrazione regolare di

vitamina D anche in rapporto ai diversi periodi dell'anno e sulla base dell'esposizione al sole. I risultati della ricerca sono stati pubblicati sul "Journal of Nutrition" e hanno fornito, secondo Zimmermann, "nuovi suggerimenti importanti" sulle dosi ottimali di vitamina D da somministrare nel tentativo di contrastare efficacemente la perdita di massa ossea.

**TUMORI**

**L'enzima frenato nell'aggressività**

Ricercatori dell'università statunitense del Missouri si sono serviti del spettrometro a risonanza magnetica nucleare per mappare l'enzima MMP7, prodotto dai globuli bianchi. Questo enzima, come ha spiegato il responsabile dello studio Steve Van Doren, ha la caratteristica di favorire le metastasi perché segnala alle cellule tumorali di aumentare la loro aggressività tagliando alcune proteine e legandosi ad esse. La speranza è che le nuove informazioni contribuiscano proprio a comprendere come bloccare questa azione. Lo studio è stato pubblicato sulla rivista "Structure".

## FOTONICA

# IL QUANTO DELLA COMUNICAZIONE

### CRITTOGRAFIA

#### Un fotone alla volta

Uno degli elementi fondamentali per la computazione quantistica è la capacità di operare con un fotone alla volta per poter eseguire i calcoli. Un gruppo di ricercatori dell'israeliano Istituto Weizmann ha descritto a novembre sulla rivista "Nature photonics" una tecnologia che permette di prelevare da un fascio di luce di qualunque intensità un singolo fotone, individuandolo e scegliendolo con precisione. I ricercatori hanno paragonato il loro sistema a un rubinetto che lascia passare una goccia alla volta anche quando la pressione del flusso di acqua a monte è elevata. Il risultato, ottenuto sotto la guida di Serge Rosenblum e Orel Bechler, potrà essere usato per applicazioni di crittografia quantistica.

### TRANSISTOR

#### Il punto quantistico

Ricercatori dell'Istituto danese Niels Bohr e dell'Istituto coreano di scienza e tecnologia hanno annunciato

lo scorso ottobre su "Nature Communications" di avere creato un "punto quantistico" capace di emettere un singolo fotone alla volta lungo una precisa direzione. Il punto quantistico, composto da pochi atomi, è contenuto all'interno di un cristallo lungo 10 micron e spesso solamente 160 nanometri. L'emissione del fotone avviene grazie a una luce laser. L'idea è quella di utilizzare questo chip come un transistor fotonico in grado di fungere da gateway per le particelle di luce, creando così un network di fotoni che interagiscono tra loro come in un vero e proprio circuito.

### ANALISI

#### Il diamante dell'ombrello

Ombrelli di dimensioni nanometriche per catturare i fotoni sono stati costruiti nei laboratori dell'Istituto di tecnologia di Tokyo. I ricercatori, guidati da Mutsuko Hatano, hanno dimostrato che nanostrutture di diamante a forma di ombrello, con una base di metallo che funziona da specchio, sono in grado di catturare fino a cinque volte più fotoni rispetto alle nanostrutture di diamante di

altre forme. La scoperta, descritta sulla rivista "Applied Physics Letters", potrà essere utilizzata per realizzare migliori strumenti per analisi biologiche, ma potrà anche trovare applicazioni nei settori della computazione quantistica o della crittografia.

### INTERFACCIA

#### Schermi touch da non toccare

L'utilizzo diffuso di schermi touch in ambienti pubblici, come le biglietterie automatiche, può costituire anche un problema di igiene. I chimici dell'Università Ludwig-Maximilians di Monaco stanno così lavorando a schermi touch che per funzionare non devono essere toccati, ma semplicemente sfiorati con un dito. Gli studiosi hanno realizzato un foglio nanostrutturato con cristalli fotonici che cambiano colore a seconda del tasso di umidità ambientale. L'umidità naturale della pelle di un dito che si avvicina a questo foglio è avvertita dai cristalli fotonici, che reagiscono modificando le proprie proprietà ottiche. Il gruppo di ricercatori, guidato da Bettina Lotsch, sta lavorando anche ad uno schermo analogo con proprietà elettroniche.

grande efficacia. Il tubo circolare della macchina accelera i fasci di particelle sono fino a fargli raggiungere velocità di 60.000 chilometri al secondo e inviarli quindi nelle sale dove i pazienti ricevono il trattamento. Il Cnao dispone oggi di tre sale nelle quali sono posizionati degli speciali lettini verso i quali sono indirizzati i fasci di ioni che non sono dolorosi per i pazienti. Qui, i medici e i tecnici del Cnao, dopo gli esami preparatori condotti con Tac, risonanza magnetica e Pet, per identificare con precisione le aree da trattare, definiscono per ciascun paziente la corretta posizione sul lettino, che deve essere riproducibile per ogni seduta di trattamento ed è studiata appositamente per consentire la maggior precisione possibile del raggio.

Anche questo posizionamento è uno spinoff della ricerca fisica perchè il posizionamento è cruciale per ridurre al minimo i danni ai tessuti sani. Ogni seduta ha durata di circa 30 minuti, e il ciclo completo di adroterapia può durare, a seconda dei casi, da una a sei settimane con una seduta al giorno per cinque giorni la settimana. Per molte forme di tumore l'adroterapia è un vero salvavita. Una ricerca pubblicata nel febbraio del 2015 su *Lancet Oncology* ha preso in esame 8000 pazienti trattati con adroterapia al National Institute of Radiological Sciences (Nirs) di Chiba in Giappone mostrando che la metodologia produce risultati clinici superiori alle altre terapie come la radioterapia ai raggi X, sia in termini di sopravvivenza dei pazienti che di efficacia nella distruzione delle cellule tumorali e nel contrasto allo sviluppo di recidi-

ve. In particolare la sopravvivenza dei pazienti con forme avanzate di tumore al pancreas, trattati con adroterapia, è stata doppia rispetto ai migliori risultati ottenuti con la tradizionale radioterapia.

Nelle sedute di radioterapia tradizionale, infatti, le cellule tumorali sono bombardate con un fascio di raggi X che "brucia" le cellule malate ma distrugge anche quelle circostanti. Al contrario, gli adroni sparati dal fascio dell'acceleratore rilasciano la maggior densità di energia direttamente sul bersaglio, proprio lì dove si trova il tumore, risparmiando i tessuti sani che lo circondano. Per il tumore alla prostata ad alto rischio l'adroterapia è risultata efficace nell'80% dei casi, meglio di ogni altro metodo di cura disponibile. Dallo studio giapponese è inoltre emerso che l'adroterapia è il miglior trattamento possibile per i sarcomi ossei, rendendo possibile, per esempio, una sopravvivenza dell'86% a cinque anni dalla diagnosi per i pazienti colpiti da cordoma del sacro, una forma ad altissima mortalità e considerata incurabile.

Inoltre, per diverse neoplasie del distretto testa-collo, come gli adenocarcinomi, il trattamento dell'adroterapia è risultato efficace nell'80% dei casi, mentre, per alcune forme di tumore al polmone, i risultati sono migliori rispetto alla radioterapia, con efficacia nell'84% dei casi e con effetti collaterali molto meno marcati. Oggi al Cnao, le cui tecnologie hanno già ottenuto la marchiatura CE e hanno superato tutti i test di sicurezza del Ministero della Salute, si curano 23 tipi di tumore, che non hanno altra possibile cura, tra cui le forme

più aggressive di tumori come quello al pancreas, al fegato, alla prostata e i tumori ossei e, a breve, i melanomi oculari e per i tumori al polmone e quelli pediatrici, in particolare quelli ossei e quelli di grandi dimensioni che colpiscono l'addome.

La diffusione dell'adroterapia promette di essere un vantaggio sia per i pazienti che per le casse del sistema sanitario, purtroppo sempre protagonista nelle passività dei bilanci regionali. Ogni anno in Italia, infatti, 120.000 pazienti oncologici vengono irradiati con raggi X per la cura di un tumore. Le sedute di radioterapia sono spesso precedute o seguite da un intervento chirurgico e da una chemioterapia. Secondo l'Associazione italiana di radioterapia oncologica, almeno il 10% di questi pazienti avrebbe maggiori probabilità di miglioramento e di guarigione se l'irradiazione venisse fatta con fasci di protoni, anziché con un fascio di raggi X, perché i protoni possono essere diretti con precisione millimetrica sul "bersaglio tumorale", risparmiando in modo significativo i tessuti sani circostanti.

**Il costo dell'adroterapia.** L'uso dell'adroterapia eliminerebbe perciò i costi, sia economici che sociali di molti interventi di chemio e radioterapia e dei loro spesso pesanti effetti collate-

rali. La sfida però non è solo tecnologica o clinica ma purtroppo anche burocratica perché in Italia oggi sono circa 3mila i pazienti che potrebbero beneficiare dell'adroterapia, ma che hanno grande difficoltà ad accedere in strutture come il Cnao, perché l'adroterapia deve essere ancora inserita nei Lea, i Livelli Essenziali di Assistenza come chiesto dal ministro della Salute Beatrice Lorenzin. Le terapie del Cnao, infatti, sono riconosciute gratuitamente, all'interno del Sistema sanitario nazionale, solo dalle Regioni Lombardia e Emilia Romagna. I pazienti delle altre regioni, per accedere ai trattamenti, devono chiedere autorizzazione alle loro Asl con lunghe attese burocratiche.

Nel 2015 è anche ripartito, dopo un upgrade durato un anno, Catania, il Centro di adroterapia e applicazioni nucleari avanzate, lanciato nel 2002 dai Laboratori del Sud dell'Inf in collaborazione con il Policlinico dell'Università di Catania e specializzato nei trattamenti dei melanomi dell'occhio. Dal momento della sua entrata in funzione Catania ha trattato oltre 360 pazienti con percentuali di successo vicine al 95 per cento. Oggi l'acceleratore siciliano proietta fasci di protoni con un'energia di 62 MeV (mega elettron volt). A Trento è da poco nato il terzo centro italiano specializzato in adroterapia con il Tipfa,

***“Forse nella percezione comune sfugge, ma il Cern di Ginevra non è solamente un centro di ricerca all'avanguardia, ma anche un grande centro industriale”***

## IL SENSO DEL BOSONE

Il bosone di Higgs è la particella che dà la massa a tutte le altre particelle subatomiche della materia: la massa è acquisita dalla altre particelle quando queste si trovano immerse e interagiscono con il campo di Higgs, prodotto dai bosoni di cui è permeato l'universo. L'esistenza del bosone era stata ipotizzata nel 1964 dal fisico Peter Higgs per spiegare come mai la materia abbia massa



In assenza di campo  
le particelle viaggerebbero  
alla velocità della luce

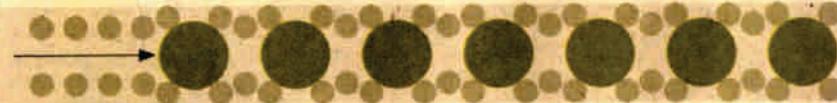
Attraverso il campo di Higgs ● le particelle avvertono ognuna una resistenza diversa che è chiamata massa:



Particella di massa  
piccolissima o zero  
(fotoni, elettroni, ecc.)



Particella di massa media  
(muoni, ecc.)



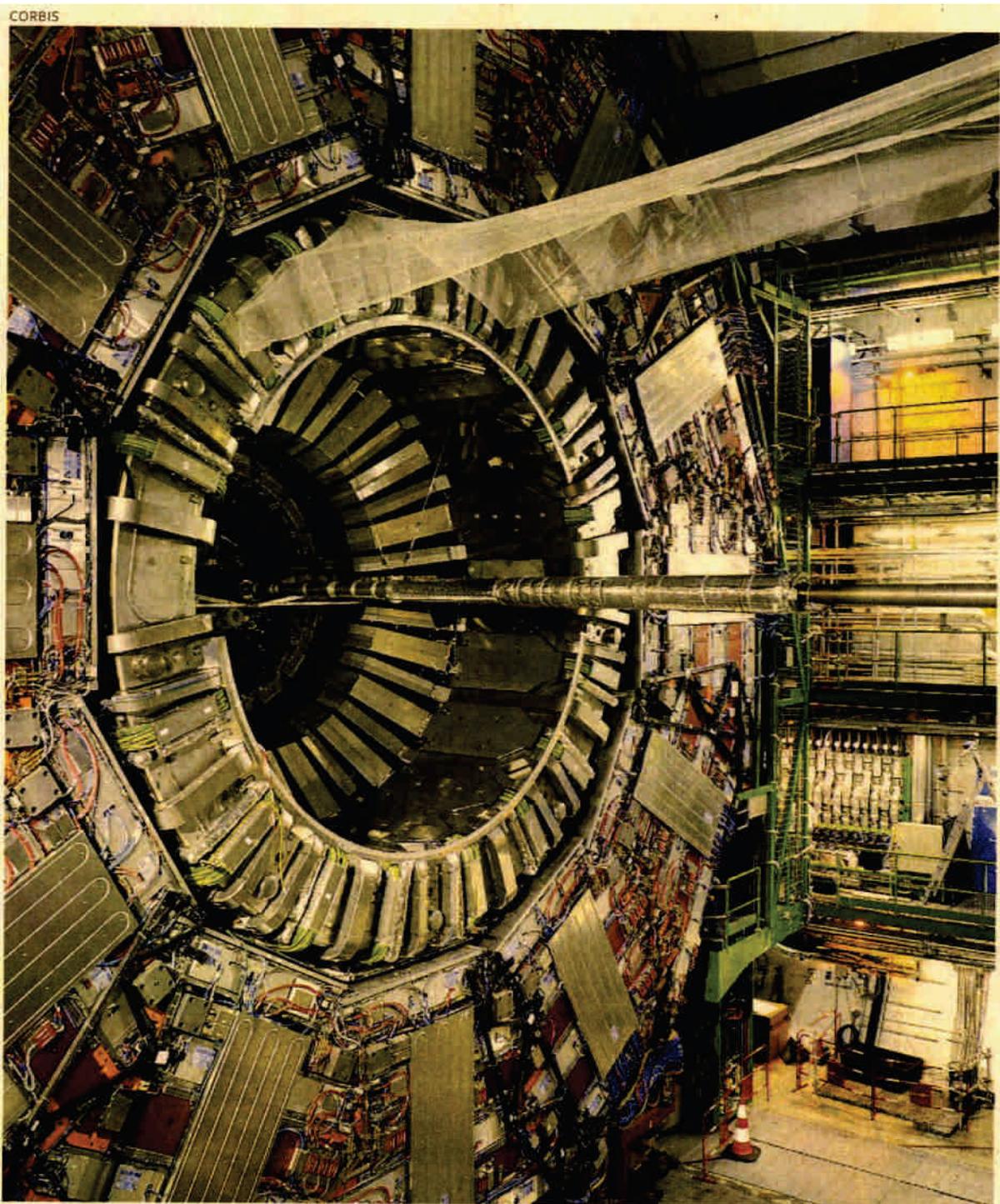
Particella di grande massa  
(quark top, ecc.)

il Trento institute for fundamental physics applications dell'Infn, diretto da Marco Durante, uno degli specialisti richiamati grazie al programma di rientro dei cervelli negli anni scorsi. "Il centro trentino" sottolinea Speranza Falciano, fisica sperimentale presso l'Università La Sapienza di Roma e vicepresidente dell'Infn "è un esperimento molto interessante perché parte di un piccolo distretto del biomedicale nel quale è attiva anche la Fondazione Bruno Kessler con lo scopo di far collaborare realtà con competenze diverse nello sviluppo di sensoristica e rilevatori di nuova generazione".

La contaminazione tra fisica delle particelle e clinica medica si sta rivelando estremamente produttiva per-

ché anche l'esperienza maturata per lo sviluppo di algoritmi e software per l'analisi di immagini sta trovando applicazione in programmi di analisi automatica che si stanno studiando per l'impiego in futuri programmi di screening.

Un'altra delle sfide tecnologiche raccolte recentemente dai fisici italiani in campo medico è la riduzione dei costi e delle dimensioni delle macchine dedicate alla terapia come è già avvenuto nella diagnostica per Tac e risonanze magnetica. Un progetto analogo è partito nel 2014 a Bari con il sistema Erha, realizzato dall'azienda pugliese IteI, in collaborazione con l'Infn e con il sostegno della Regione Puglia, per un acceleratore lineare con applicazioni mediche che



**L'ULTIMA PIETRA** Il Large hadron collider, l'acceleratore di particelle più potente al mondo realizzato al Cern di Ginevra inizia a funzionare. Era il luglio 2008: quattro anni dopo viene rilevato il bosone di Higgs

dovrebbe presto entrare in attività. La Fondazione Tera, responsabile 14 anni fa della progettazione e approvazione del Cnao, ha già sviluppato e brevettato, nel suo laboratorio presso il Cern di Ginevra, una tecnologia per dei nuovi acceleratori lineari di protoni, molto più leggeri degli anelli di ciclotrone attualmente presenti nei tre centri italiani di Pavia, Trento e Catania.

Il progetto ha recentemente ricevuto anche un sostegno di 300mila euro da parte della Fondazione Just Italia, per arrivare alla realizzazione del primo prototipo di acceleratore compatto per adroterapia pensato per gli ospedali entro il 2018. Il nuovo sistema è in realtà composto da due acceleratori. Il primo è un piccolo ciclotrone, dal quale escono quattro fasci di protoni. Il secondo è un "linac", un piccolo acceleratore lineare che accelera ancora di più uno dei quattro fasci iniziali. È questo raggio che verrà utilizzato per il trattamento di pazienti, anche pediatrici. Gli altri tre fasci a 24 MeV e quindi più potenti dei tradizionali sistemi oggi presenti negli ospedali italiani che viaggiano a 15-18 MeV, non vanno però sprecati ma utilizzati per la produzione di radioisotopi utili nella pratica clinica.

**Una questione (anche) di business.**

Quella di Tera è un'ulteriore dimostrazione del felice rapporto tra industria italiana e Cern. Se è vero che l'Italia ha contribuito con una quota del 15% del budget complessivo alla costruzione di Lhc con un esborso complessivo 1,1 miliardi di euro, il saldo per il nostro paese è decisamente in attivo visto che le aziende

italiane hanno conquistato il 18,6% delle commesse collocandoci secondi assoluti dietro la Francia (34,2%) e davanti alla Germania (15,6%). Un successo che ci vede sul podio in tutte le aree di maggior interesse industriale, dall'ingegneria civile ed elettrica (secondi, rispettivamente con un valore pari al 23,9 e 29,3% delle commesse totali), alla meccanica (secondi, 18,9%) e alle tecnologie del vuoto e della criogenia (terzi, 12,6%).

I nomi più in vista dell'contributo italiano all'Lhc sono certamente la Asg Superconductors, la ex-Ansaldo genovese che, da sola, ha costruito un terzo dei dipoli superconduttori di Lhc, delle bobine superconduttive del Toroide Barrel di Atlas e del Solenoide di Cms; la viareggina Caen, di fatto uno spinoff dell'Infn, che ha sviluppato e prodotto la parte elettronica del Trigger di muoni di Livello 1 di Atlas e i sistemi di alimentazione e controllo sia di Atlas che di Cms; la romana Selex che ha assemblato con tecniche di bump-bonding di metà dei moduli del rivelatore a Pixel di Atlas e la napoletana Zener dalla quale sono usciti i circuiti stampati dell'elettronica di front-end dei rivelatori Resistive Plate Chambers (RPC) di Atlas.

Ma il rapporto tra industria e Cern va ben oltre Lhc. "Forse nella percezione comune sfugge, ma il Cern non è solo un centro di ricerca all'avanguardia nelle alte energie, ma anche un grande centro industriale" osserva Giovanni Anelli, responsabile del "knowledge transfer" del centro europeo. A Ginevra, più che di trasferimento tecnologico, preferiscono infatti parlare di trasferimento di conoscenze,

**ADROTERAPIA**

La terapia adronica è una forma di radioterapia a fasci esterni che utilizza fasci di protoni, neutroni o ioni positivi per il trattamento dei tumori

che qui è fortissimo soprattutto per le tecnologie della criogenia, dell'alto vuoto e dei magneti ad altissimo campo sviluppati per gli acceleratori, ma anche nel campo dell'it.

Al Cern, dove è nato il web, non è stato inventato il calcolo distribuito, ma è qui che i sistemi di grid sono stati scalati ad altissimi livelli con benefici, negli anni seguenti, per tutta l'industria dei servizi in cloud. "Vogliamo mostrare agli Stati membri e alla società civile che la nostra ricerca ha un impatto molto importante anche se non c'è una specifica tecnologia che viene trasferita".

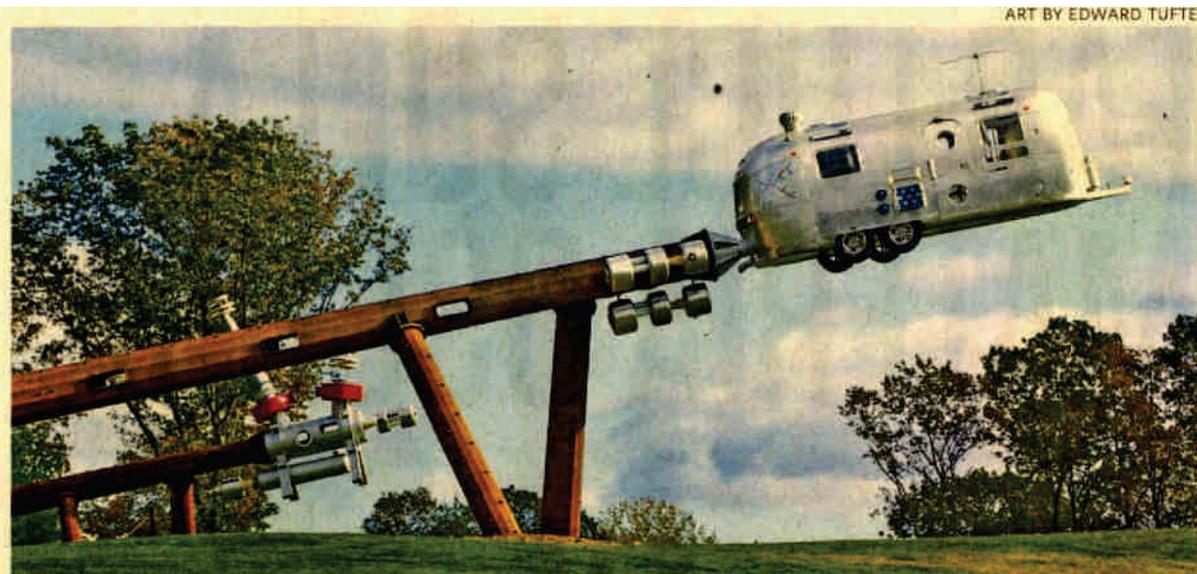
E infatti il numero dei brevetti registrati da un centro così grande è bassissimo: appena cinque l'anno. "Brevettare costa, sarebbe estremamente complesso con 180 istituti che collaborano su esperimenti come Atlas e Cms e, soprattutto, non è il nostro scopo - spiega Anelli -, la nostra missione è fare in modo che le conoscenze prodotte qui con fondi pubblici siano disponibili per cittadini e imprese". La norma è quindi la pubblicazione di tutti i risultati in formato aperto e la concessione di licenze, preferibilmente gratuite. Il centro ha anche messo a punto una sua licenza ad-hoc per i sistemi hardware, la Cern Open Hardware license, visto che quelle già esistenti per i software mal si prestavano per invenzioni come schede e processori.

**Il dilemma tra brevetti e open source.** Il brevetto rimane così l'eccezione, utilizzati unicamente quando la tecnologia da sviluppare è talmente lontana dal mercato che è necessario creare una protezione della proprietà

intellettuale che interessi gli investitori. La formula più comune per le aziende rimane quella delle licenze che in genere sono gratuite e non esclusive. In alcuni casi vengono concesse licenze esclusive che generano royalties, come nel caso di Panalitca, un'azienda olandese che ha utilizzato le conoscenze prodotte nell'ambito del lavoro sugli acceleratori per sviluppare Medipix, una serie di sensori destinati alla diagnostica per immagini che non solo identificano il segnale, ma ne misurano anche l'energia, permettendo di raccogliere molte più informazioni sui tessuti del paziente. "L'azienda ha investito diversi milioni di euro nello sviluppo del suo prodotto e quindi ha chiesto una licenza esclusiva - spiega Anelli -, ma è solo per il settore biomedicale, quindi altri possono ancora utilizzarla".

Un altro esempio è quello della Srb Energy, spinoff creata dall'ex ricercatore del Cern Cristoforo Benvenuti, che ha messo a frutto le tecnologie del vuoto disponibili a Ginevra e di quindici ordini di grandezza più avanzate degli standard industriali, per produrre pannelli solari ad altissima efficienza e che successivamente è stata acquisita dalla gruppo spagnolo Segura.

Un altro filone di successo è quello del software. Tutto quello che viene sviluppato al Cern è rilasciato in open source e spesso enti pubblici, università e altre organizzazioni chiedono di utilizzare questi sistemi. È il caso di Tind.io, uno spinoff nato per gestire l'installazione e la customizzazione di un software aperto sviluppato all'interno del Cern e che adesso dà lavoro a una decina di persone. Poco



**L'ENERGIA DELLE COSE** Lo statista e scultore americano Edward Tufte trasforma nozioni scientifiche in opere d'arte: tutte le cose nell'universo generano modelli di energia derivanti dal loro movimento

noto, ma in crescita è il programma di incubatori per imprese e di accordi di trasferimento delle conoscenze e delle tecnologie sviluppate al Cern. L'Italia, con cinque accordi è seconda solo alla Francia (sette) e si sta muovendo con molta decisione grazie all'azione dell'Infn per creare degli incubatori d'impresa. "L'area triestina, per la sua densità di strutture e ricercatori è certamente in prima fila così come il Friuli e i Politecnici di Milano e Torino - spiega Falciano -, ma anche Sardegna e Puglia, dove ci sono molte politiche per le startup e il Lazio, con il suo distretto aerospaziale, sono aree possibili. Ma a livello italiano il problema non sono le competenze o le sensibilità da parte degli imprenditori, che ci sono quanto la disponibilità di fondi specifici per queste azioni. L'Infn infatti non ha una linea di fondi dedicata al trasfe-

rimento tecnologico e questo rende il processo più difficoltoso". Oggi il trasferimento tecnologico dell'Infn è finanziato attraverso un fondo alimentato dalle royalties dei brevetti e delle licenze, ma risorse dedicate permetterebbero di fare certamente di più. Un altro problema italiano è la frammentazione delle politiche. Infn, ad esempio ha sviluppato con successo Adm, l'infrastruttura per l'agenda digitale della Regione Marche, che adesso è basata su software open source figli dei sistemi Grid sviluppati per le analisi dei risultati dell'Lhc e adattati al cloud computing. "È un'applicazione abbastanza lontana dalle nostre ricerche, ma che sta avendo molto successo e che stiamo replicando con altre Regioni - spiega Falciano -, ma non riusciamo ad agganciarla all'agenda digitale nazionale".