LHC e la Big Science come modello

Mega-Reti ed Infrastrutture Scientifiche Pan-Europee: le costituende fondamenta per la società e l'economia dei prossimi anni

di *Antonio Candiello*[1]

Introduzione

Questo scritto nasce dall'esigenza di trasmettere agli uomini d'impresa alcune informazioni sui grandi mutamenti strutturali che si stanno intravvedendo nel contesto scientifico, al fine di indicare percorsi di preparazione al grande lavoro che saremo tutti portati a fare al fine di rendere concreta e operativa l'evoluzione economica e sociale che ne seguirà.

In un percorso – invero un po' ambizioso per il suo ampio perimetro – cercheremo di stimolare una consapevolezza razionale che renda più comprensibile il contesto in cui siamo immersi, magari inducendo negli imprenditori una più attiva partecipazione ai grandi processi di sviluppo e di crescita, cercando di rendere più comprensibili, secondo questo ordine:

1) le **reti fisiche e logiche** in cui siamo immersi ed i modelli implicitamente sottesi,
2) il **mondo fisico** che ci circonda, la sua affascinante complessità e le straordinarie sfide intellettuali e tecnologiche che ci pone,
3) l'impressionante sistema di **grandi infrastrutture di ricerca** che la comunità europea sta progettando (e già predisponendo) in ogni ambito della conoscenza sul modello della *big science* della fisica delle alte energie.

Riteniamo infatti opportuno infatti, come più frequentemente avviene negli altri paesi nostri pari, che imprese ed accademia trovino la giusta modalità per consolidare un'alleanza costruttiva finalizzata a ricercare, comprendere, sperimentare e quindi portare a realizzazione nuove classi di strumenti e di tecnologie. Al fine di migliorare le nostre capacità di intervenire sul mondo fisico secondo modalità più efficaci, avanzate e meno invasive, migliorando contestualmente la competitività del nostro Paese.

1. *Network theory*

Il concetto di rete si è dimostrato estremamente fecondo per le ampie applicazioni che si sono avute nei contesti reali. Gli elementi costitutivi di una rete (denominata *grafo* nella letteratura scientifica matematica) sono essenzialmente:

- i *nodi*, detti anche *vertici* (*nodes, vertices* nella terminologia inglese) nella teoria dei grafi,
- le *connessioni* (*edges*, *links* nella terminologia inglese) tra i nodi, che possono essere orientate o non orientate.

La semplicità del contesto (solo due elementi definitori), unita alla complessità potenziale delle reti (che "esplode" al crescere il numero delle connessioni) spiega la vasta applicabilità delle considerazioni teoriche al mondo reale. La *topologia* della rete è di fatto definita da come sono collegati i nodi, la *struttura* della rete. Su questa base si definiscono una serie di proprietà, tra cui citiamo:

[1] Fisico, consulente per le imprese e ricercatore nell'*Information Technology* e sulle tematiche ambientali (cfr. profilo esteso alla fine dell'articolo).

- il *grado* k_i del nodo i, inteso come il numero di connessioni per nodo;
- la *distanza* d_{ij} tra due nodi (e quindi i concetti di vicinanza o lontananza), intesa come il minomo numero di collegamenti (i "salti") necessari ad interconnetterli;
- il *diametro D* della rete, inteso come la massima distanza esistente tra due nodi qualunque della rete;
- quando le reti hanno un gran numero di nodi (e connessioni) risultano efficaci strumenti di analisi le proprietà statistiche quale ad esempio la *distribuzione* del grado $p(k)$.

Nel seguito valuteremo alcuni casi di interesse, soffermandoci (nel prossimo paragrafo) su un tipo di rete che ha trovato ampie applicazioni nei contesti tecnologici e sociali.

1.1 Reti Scale-Free

Nel 1999 il fisico Albert-László Barabási, studiando le caratteristiche delle interconnessioni tra le pagine web con l'aiuto un *crawler*, ne identificò una importante proprietà, che definì *scale-free*: la rete risultante ha caratteristiche di similarità indipendentemente dalla scala di osservazione. Una rete ha questa proprietà se il la distribuzione del grado di connettività k (il numero di connessioni per nodo) segue una legge di distribuzione di potenza, ovvero in termini statistico-matematici se $p(k)$ va come $k^{-\alpha}$ (cfr. Figura 1). Una legge di distribuzione della probabilità ben diversa da quella che più frequentemente si è abituati ad incontrare, ad esempio, nei sistemi di misura, dove il grafico disegna una gaussiana (che invece è caratteristica delle reti random, che descriviamo più avanti).

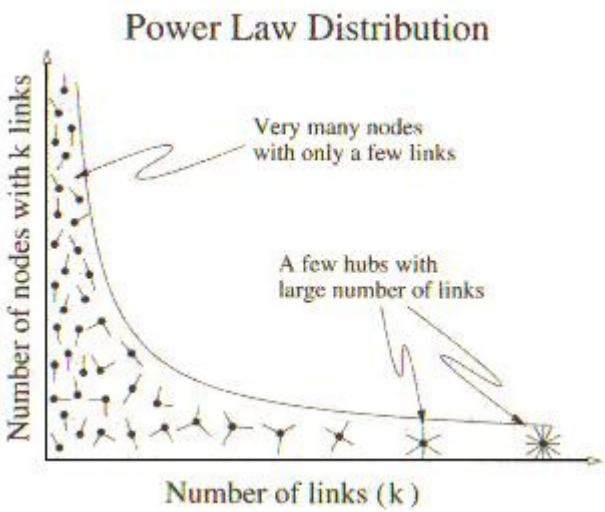


Figura 1 - Reti *scale-free* e legge di distribuzione di potenza.

Come è evidente dalla legge di distribuzione, pochi nodi speciali (detti *hub*) presentano un gran numero di connessioni, mentre la maggior parte hanno poche connessioni (come ben sa chiunque si sia fatto la sua prima *home page* personale … non ci arriva nessuno!). Caratteristica, questa, che ne spiega peraltro l'affidabilità – se un nodo si "scollega" dalla rete, è molto probabile che sia uno dei nodi poco connessi e che quindi non pregiudica la continuità dei percorsi di interconnessione esistenti. In qualche modo, la rete (*logica*) costituita dalle pagine web ha "ereditato" l'affidabilità *by design* voluta dai primi creatori della rete internet, i militari del DARPA americano, che progettarono la rete (*fisica*) per poter funzionare anche nel caso estremo di un conflitto nucleare.
Reti di questa sorta emergono secondo un processo detto *collegamento preferenziale*, secondo cui la crescita della rete si concentra nei nodi più connessi – un po' come avviene quando, nella nostra

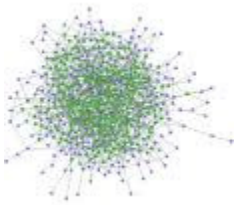
home page, riportiamo generalmente links alle pagine più connesse o, per fare un esempio diverso, come quando nei nostri documenti citiamo le referenze bibliografiche più note.
Oltre all'affidabilità intrinseca, le reti *scale-free* garantiscono brevi percorsi di collegamento tra tutti i nodi secondo una caratteristica già identificata (nelle reti sociali) da Milgram nel 1967 nel suo esperimento sui *sei gradi di separazione* tra qualunque persona nel mondo.

Riassumendo, ecco le proprietà di una rete scale-free:
- *scale-free*: il sistema presenta le stesse proprietà a qualunque scala di osservazione
- *power law*: la distribuzione dei nodi è descritta da una legge di potenza
- *hub*: ci sono nodi speciali con tante connessioni
- *small world*: con pochi passaggi si connettono due nodi qualsiasi ("*six degrees of separation*")
- *preferential attachment*: le connessioni nuove avvengono preferibilmente negli hubs
- *tolerance*: la rete è intrinsecamente resistente alla soppressione casuale di nodi
- *percolation*: queste reti si formano spontaneamente da piccoli nuclei

L'esperienza ha poi reso evidente che sono diverse, oltre al web, le reti di questo tipo. Le reti infrastrutturali (oltre ad internet, le reti elettriche, il sistema dei trasporti aerei), ad esempio, per le quali sono essenziali le caratteristiche di affidabilità e di efficacia nelle connessioni. Ma anche le reti sociali, i sistemi ecologici ed i sistemi biologici rientrano in questa categoria, suggerendo ai ricercatori di applicare tecniche generali per comprendere comportamenti complessi ed apparentemente imprevedibili.

1.2 Altre reti

È opportuno qui ricordare che le reti *scale-free* sono solo un tipo particolare di reti tra quelle esistenti, particolarmente rilevanti per la nostra esperienza ambientale, sociale e tecnologica.
Altre tipologie di rete, con caratteristiche e proprietà diverse, sono di rilievo in altri contesti. La teoria delle reti e la teoria dei grafi operano nell'analisi delle diverse tipologie al fine di comprenderne meglio le funzionalità e di far leva sulle proprietà specifiche negli ambiti di applicazione.



Le reti *random*, dove la legge di distribuzione dei nodi è descritta dalla legge di Poisson, sono in qualche modo l'*opposto* delle reti scale-free, nel senso che sono assolutamente inefficaci in termini di vicinanza dei nodi (i "salti" tra nodi necessari per connettersi sono in numero elevato) e quindi non adatte alle reti infrastrutturali. Reti di questo tipo si formano casualmente, sono altamente omogenee e non emergono i nodi speciali ovvero *hubs*.

Le *reti gerarchiche*, che danno forma alle strutture di conoscenza e connesse tassonomie, sono ampiamente utilizzate in informatica e forniscono un contributo insostituibile alla gestione dei dati che affidiamo ormai irreversibilmente agli archivi informatici. Varianti di rete più sofisticate, in grado di gestirne la necessaria flessibilità e la maggiore complessità, sono alla base delle moderne *ontologie* che, nel contesto del *semantic web* ideato dal già ideatore del web Tim Berners-Lee, stanno trasformando le rigide basi di dati in *basi di conoscenza* con le quali è possibile interagire in modalità assolutamente innovative e più vicine al modo di ragionare dell'uomo. Le *reti semantiche* recuperano la semplicità dei concetti di base della rete (però, *orientata*), ponendo alla base dei dati la tripletta associativa composta da soggetto, oggetto e predicato che ricalca la strutturazione del linguaggio.

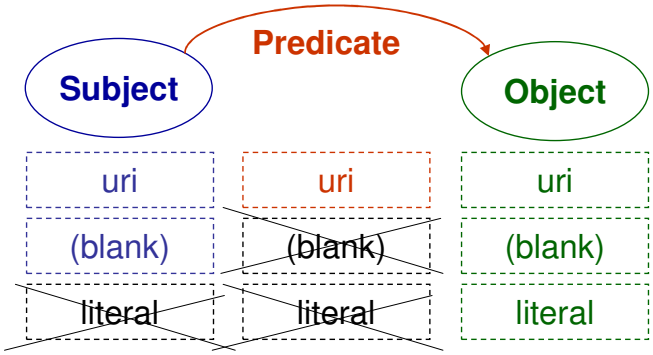


Figura 2 - La *tripla fondamentale* del linguaggio semantico RDF.

Il relativo linguaggio RDF, forma evoluta dell'XML, e le sue evoluzioni come l'OWL, sono già correntemente utilizzati nei consueti *luoghi* che siamo abituati a frequentare su internet, in un modo che consente alla tecnologia di ridurre la rigidità intrinseca nel database tradizionale.

Considerazioni

Come nota Manuel Castells, in "The Rise of the Network Society", *networks are the fundamental stuff of which new organizations are and will be made*, ovvero, le organizzazioni di fatto sono definire da come le relative reti sono strutturate. Di conseguenza la conoscenza del funzionamento delle reti è divenuto bagaglio culturale essenziale per gli operatori della moderna economia dei servizi e della conoscenza, tanto che Albert-László Barabási, in "Linked: The New Science of Networks" (2002), riporta: *understanding network effects becomes the key to survival in a rapidly evolving new economy. In reality, a market is nothing but a directed network.*

L'arsenale modellistico e tecnologico derivante dalla conoscenza delle reti, maturato a seguito della sua ampia applicazione nelle discipline scientifiche, è ora a disposizione di contesti più connessi a società, economia, organizzazione ed impresa. Si tratta in effetti di una straordinaria opportunità per *manager* ed imprenditori, che hanno la possibilità ora di operare nei complessi ed altamente interconnessi sistemi moderni sulla base di una maggiore consapevolezza, conoscendo ed anticipando potenziali effetti e magari adattando le proprie organizzazioni a seguire con maggiore efficacia il mercato per trarne il massimo beneficio.

In definitiva, rimappando le semplici entità concettuali di base – nodi e connessioni – nelle proprie realtà di applicazione, ed analizzando le essenziali proprietà della rete, sarà possibile senza grosse difficoltà declinare modelli e tecnologie delle reti ai contesti di interesse traendone un potenziale vantaggio competitivo. Un vantaggio che può essere più elevato quanto più complesse sono le reti nelle quali organizzazioni ed imprese sono immerse.

2. Scatole cinesi

La natura che conosciamo è fatta di *materia* e di *energia*.

La materia, organizzata chimicamente sotto forma di molecole (dalle più semplici dei sistemi inanimati alle più complicate dei sistemi biologici) o di complessi fisici come metalli e cristalli, è costituita sulla base di un ben determinato insieme di *elementi fondamentali*. Questi poco più di novanta elementi fondamentali sono organizzati nella tavola periodica degli elementi, che rende evidenti le similarità chimiche di alcuni gruppi di elementi (posti in colonna) e riporta le principali proprietà fisiche degli atomi.

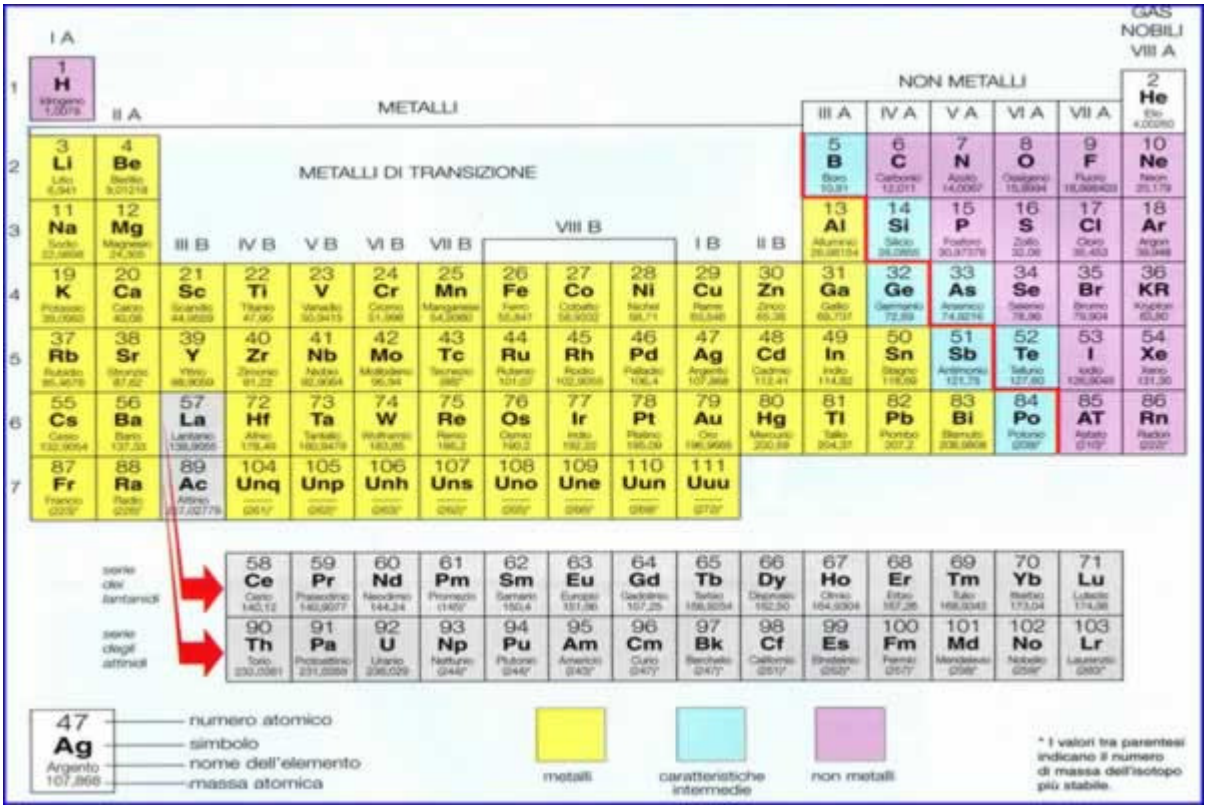


Figura 3 – La Tavola Periodica degli elementi. Immagine da: articoliamo.net.

L'energia ci è nota soprattutto in forma di radiazione luminosa, ma essa è trasmessa utilizzando tutte le componenti dello spettro elettromagnetico (i *fotoni*); l'energia viene scambiata nativamente anche in altre forme, come ad esempio in forma di accoppiamento gravitazionale (i *gravitoni*).

Le proprietà chimiche degli elementi (che riguardano la formazione di molecole) sono l'effetto dei guscio elettronico più esterno, dove è possibile la formazione di legami tra atomi intermediati dallo scambio e la condivisione di un numero limitato di elettroni. Contrariamente a quanto riportano le comuni rappresentazioni artistiche, per la loro leggerezza gli elettroni orbitano a grandissima distanza dal nucleo atomico. L'*elettrone* e^- ha una carica negativa e fu individuato la prima volta da Joseph John Thomson nel 1897 con un tubo a raggi catodici (come quelli che si usavano fino a qualche anno fa per la televisione), che propose un iniziale modello atomico statico.

Se gli elettroni sono responsabili delle reazioni molecolari, la massa è invece quasi completamente concentrata nel *nucleo*, come comprese Ernst Rutherford nel 1911 proponendo un modello atomico più avanzato dove gli elettroni orbitavano attorno ad un nucleo massivo.

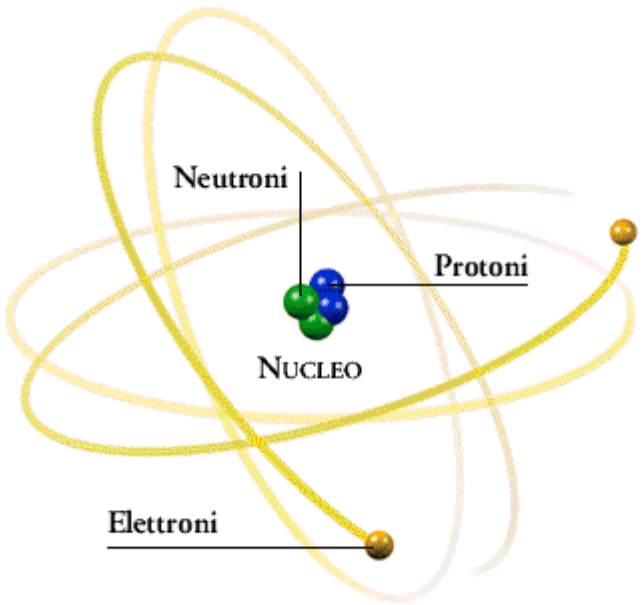


Figura 4 – Raffigurazione "pittorica" dell'atomo – in questo caso un atomo di elio (le proporzioni non sono rispettate). Immagine da: articoliamo.net.

Il nucleo degli atomi a sua volta non è un oggetto compatto, ma contiene particelle nucleari che orbitano tra loro (a distanza ben più ravvicinata degli elettroni). Queste sono di due tipi, con massa sostanzialmente equivalente, il *protone p*, carico positivamente (in grado quindi di mantenere legati gli elettroni), suggerito da Eugene Goldstein ed identificato sperimentalmente da Ernst Rutherford, che suppose l'esistenza anche del *neutrone n*, neutro (che contribuisce solo per la massa), rilevato poi dal suo allievo James Chadwick nel 1932, dopo dieci anni di ricerca. Il numero di protoni, detto *numero atomico*, vincola il numero di elettroni e pertanto determina l'identità chimica dell'elemento stesso; ai protoni si aggiungono per questioni di stabilità nucleare un certo numero di neutroni (generalmente in numero di poco superiore al numero dei protoni), ed il conteggio di protoni e neutroni determina la *massa atomica*. Elementi che differiscono solo per il numero di neutroni sono detti *isotopi*, ed hanno le stesse proprietà chimiche ma massa leggermente differente. Ad esempio, l'idrogeno è costituito prevalentemente da nuclei con solo un protone, ma in una certa misura è presente anche il *deuterio*, composto da un neutrone ed un protone legati dalle forze nucleari. Il deuterio è il costituente dell'"acqua pesante" che si usa nei reattori nucleari. La capacità di intervenire a livello della materia nucleare ha portato l'umanità a raggiungere livelli straordinari di conoscenza, nonché, insieme ai vantaggi conseguenti, anche a prendersi le grandissime responsabilità richieste nella manipolazione di una forma così potente di energia concentrata.
Il diametro del nucleo varia da poco più di un fermi (un *milionesimo di miliardesimo di metro*), nel caso dell'idrogeno, che ha solo un protone, a circa quindi volte tanto, nel caso dei nuclei più pesanti, come piombo, o uranio, che hanno oltre duecento tra protoni e neutroni. La notevole distanza che gli elettroni hanno dal nucleo rende l'atomo ben più grande, tra venti ed oltre centomila volte la dimensione del nucleo.
Protoni, neutroni ed elettroni sono sufficienti per costituire l'ordinaria materia, strutturata nella tabella periodica degli elementi – sulla cui base si compongono i composti, le molecole, i cristalli, i composti metallici e tutte le altre forme chimicamente legate. Aggiunto il *fotone* γ per la radiazione elettromagnetica (e magari il *gravitone G* per la gravità), sembrerebbe tutto quanto è necessario per spiegare "di cosa è fatto il mondo" in un approccio riduzionistico. In realtà, c'è ben altro.

2.1 Materia esotica

In effetti già a fine ottocento con gli esperimenti di Antoine Henri Becquerel e dei coniugi Pierre e Marie Curie si sapeva che il tradizionale quadro della materia "immutabile" – in particolare stabile! – non reggeva più. La radioattività, presente in alcuni elementi naturali, rappresenta l'effetto di una forma di energia diversa da quella elettromagnetica; essa fu indagata da Ernst Rutherford, che ne identificò le componenti di raggi α (nuclei di elio ionizzati) e raggi β (elettroni), e ne identificò la natura quale effetto della disintegrazione degli elementi. Si trattava, come comprese Enrico Fermi nel 1933 nei suoi approfondimenti teorici sul decadimento β, di un'interazione diversa e più debole delle forze di coesione che tengono assieme il nucleo; per interazione debole, anche il neutrone, se portato fuori dal nucleo, è instabile, e decade in circa undici minuti lasciando al suo posto un protone. Le analisi dei raggi β indussero già nel 1930 Wolfgang Pauli a ipotizzare una particella "muta", il *neutrino* ν, in grado di sfuggire ad ogni rilevazione portandosi tuttavia quote misurabili dell'energia dei decadimenti radioattivi. La debolissima interattività dei neutrini li rese difficilissimi da rilevare, tanto che si dovette aspettare al 1956, con Clyde Cowan e Fred Reines, per la loro prima rilevazione nel luogo dove sono emessi in grande quantità, ovvero presso un reattore a fissione. La reazione è in definitiva: $n \rightarrow p + e^- + \nu$. Dei neutrini parleremo più avanti, perché nonostante la loro elusività essi hanno aperto una serie di finestre in una fisica di frontiera inaccessibile con altre "sonde".

Le prime scoperte di altre particelle emersero invece dall'osservazione che, in misura crescente salendo di altitudine, la terra è costantemente colpita da radiazioni, come verificò per primo Victor Hess con un pallone aerostatico nel 1912. Tali radiazioni sono note con il nome di *raggi cosmici* ed è appurato che sono l'effetto di urti secondari in alta atmosfera da parte di particelle particolarmente energetiche provenienti dal Sole, dalla nostra galassia e anche da sorgenti extragalattiche. Esaminando i raggi cosmici Carl David Anderson nel 1936 scoprì che, oltre ad una componente "leggera" che rispondeva alle proprietà di elettroni e raggi gamma (una forma ad elevata energia della radiazione elettromagnetica), era presente una componente "pesante" in grado di penetrante più a fondo nella materia. Una serie di misurazioni successive portarono a quantificare la massa di questa componente nell'ordine di duecento volte la massa dell'elettrone. Chiamato inizialmente *mesotrone*, fu inizialmente erroneamente ritenuto il mediatore della forza nucleare tra protoni e neutroni suggerito da Hideki Yukawa nel 1934, mentre una serie di storici esperimenti portati avanti da Oreste Piccioni, Ettore Pancini e Marcello Conversi a Roma sotto i bombardamenti nel 1945 resero evidente che si trattava di una sorta di "pesante elettrone" con cui condivide la carica negativa. Ridenominato *muone* μ, ne venne misurata la vita media, pari a poco più di un paio di *microsecondi*. E rimase però il dubbio espresso, secondo la storiografia scientifica, nel 1940 da Isidor Isaac Rabi: "Il muone, ma chi l'ha chiesto?".

Può sembrare accademico discernere di particelle che, magari, ci dicono poco – anche se in realtà sarebbe opportuno metterci maggiore attenzione: siamo costantemente sottoposti, nella superficie terrestre, ad un bombardamento pari a circa *un muone al minuto per centimetro quadro*. Tanto da rendere possibili innovativi processi che fanno uso di questa fonte naturale di radiazione penetrante per scopi applicativi, come il sistema di radiografia muonica[2] dei carichi nei camion correntemente in fase avanzata di sperimentazione da parte dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) nella Sezione di Padova (cfr. Figura 5).

[2] Cfr. http://muradio.pd.infn.it.

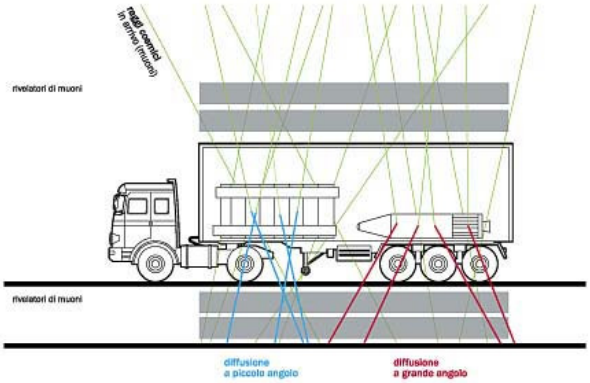


Figura 5 – Il sistema di radiografia muonica ad assorbimento progettato dall'INFN.

2.2 Dopo l'elettronica … la *muonica*?

A differenza della materia ordinaria (che è stabile), il muone è instabile, ma vive in effetti ben cento volte più tempo di quanto facciano i suoi "cugini nucleari", i *pioni* π, presto rilevati nelle tracce dei raggi cosmici come i veri rappresentanti dei mesoni (termine, questo, riservato ai mediatori della forza nucleare).

I pochi microsecondi di vita del muone nella scala dei processi subnucleari sono un tempo lunghissimo. Gli effetti relativistici, che portano gli ordinari muoni atmosferici a percorrere facilmente diversi chilometri di percorso, concorrono peraltro a rendere ancora più consistente questo divario nei confronti delle altre particelle spesso rilevabili solo da''analisi minuziosa delle brevi tracce (dell'ordine dei centimetri) lasciate nei rivelatori.

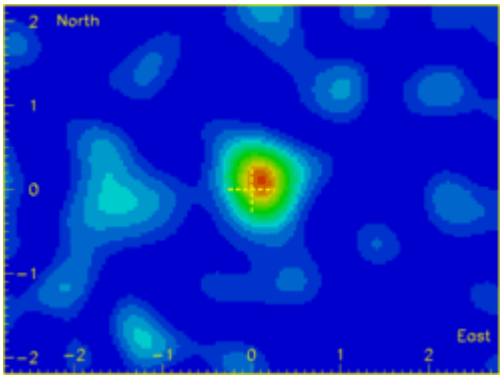


Figura 6 – E' già possibile "osservare il cielo" con i muoni. Ecco come appare l'"ombra muonica" della luna. Immagine da wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Muon.

Tutto ciò fa del muone non solo il primario strumento di indagine sperimentale – si pensi al rivelatore *Compact Muon Solenoid* (CMS), una sorta di gigantesco "microscopio subnucleare a muoni" della materia esotica di alta energia che viene creata in LHC – ma anche un formidabile strumento di interazione con la materia nucleare, con cui peraltro non interagisce (non essendo portatore di "forza forte"). Abbiamo già citato nel paragrafo 2.1 le ricadute tecnologiche nella rivelazione di metalli pesanti (piombo e ferro) all'interno dei camion – ma le possibilità dei muoni vanno anche oltre.

Senza scivolare nella scienza *eretica* o *patologica*, richiamiamo però il termine che a lungo ha suscitato enormi entusiasmi: *fusione fredda*. Tale denominazione, malamente nota al grande pubblico per gli ipotetici quanto mai realmente verificati processi di fusione annunciati nel 1989 da

Martin Fleischmann e Stanley Pons[3], fu inizialmente utilizzata in un articolo sul New York Times del 1956 dove Luis W. Alvarez spiegava la sua scoperta della *muon Catalyzed Fusion* (μCF, ora il termine preferito per il processo) dove un muone, sostituendo un elettrone, "stringe" due nuclei leggeri di deuterio e trizio e induce la fusione di questi in elio, secondo un processo suggerito nel 1950 da Andrei Sakharov e F.C. Frank.
In effetti Steven Jones, il cui nome apparve a un certo punto accanto a quello di Fleischmann e Pons per il fatto che stava conducendo ricerche simili (l'assorbimento di deuterio nel palladio ricercando tracce di reazioni nucleari), ha nel 1986 raggiunto un record ad oggi ineguagliato di fusione indotta da muoni "lenti" portati a reazione su un bersaglio di deuterio (H^2) e trizio (H^3) raffreddati a pochi gradi kelvin, riuscendo a portare a fusione ben centocinquanta nuclei per ogni muone prima che questo decadesse o fosse assorbito da un nucleo di elio prodotto dalla fusione (il cosiddetto effetto *α-sticking*). Il costo energetico per la produzione dei muoni è però piuttosto elevato, motivo per cui il *break-even* della μCF si situa oltre le tre-quattrocento fusioni per muone, che rimane un obiettivo non facile da raggiungere. Solo superando questo limite la fusione "fredda" intermediata dai muoni potrà divenire un'opzione concreta per la produzione di energia – un'opzione, segnaliamo, molto interessante perché molto più "pulita" dei processi di fusione a confinamento magnetico *tokamak* in termini di radiazioni emesse.

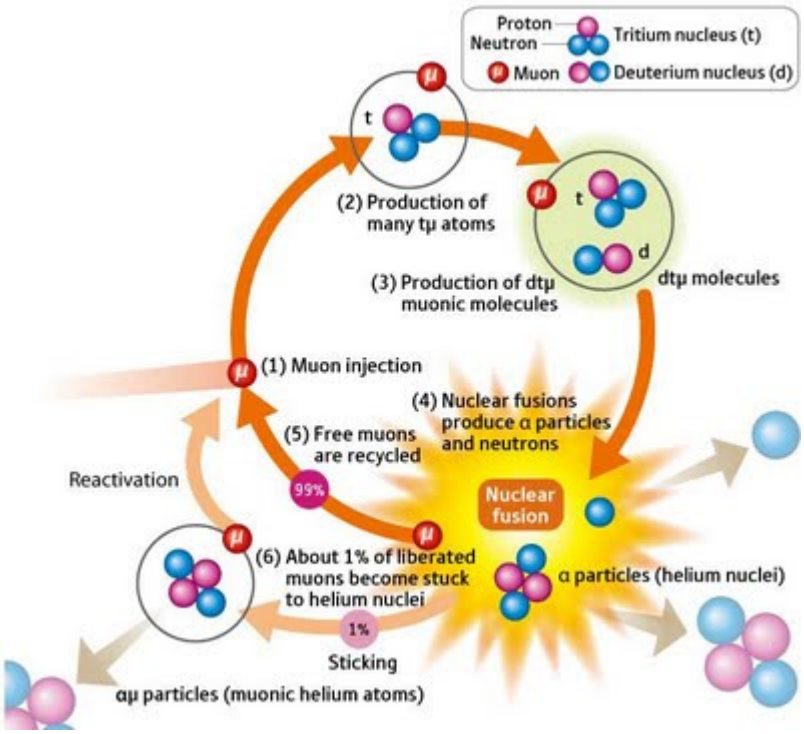


Figura 7 – Il ciclo di reazione a fusione catalizzata dal muone. Tale ciclo deve venire ripercorso per un numero *n* > 300 almeno perché l'equilibrio energetico sia positivo.

Avanzamenti significativi della μCF potranno aversi riuscendo a portare gli atomi di deuterio e trizio a più stretto impaccamento, mirando in questo modo a raggiungere 1000-1200 reazioni per muone. È interessante notare come questo tipo di evoluzione tecnologica (portare l'idrogeno ed i

[3] Sta facendo discutere animatamente la comunità scientifica italiana la recentissima impresa (la dimostrazione pubblica è avvenuta nel gennaio 2011) dell'ing. Andrea Rossi e del professore emerito Sergio Focardi, a Bologna, che sostengono di aver ottenuto un bilancio energetico positivo (l'energia in uscita sarebbe pari ad un ordine di grandezza superiore all'energia in entrata) con un reattore a fusione sperimentale nel quale il nickel assorbirebbe nuclei di idrogeno trasformandosi in rame.

suoi isotopi a maggiore densità) sia nella stessa linea delle ricerche intese ad aumentare la quantità di idrogeno nei serbatoi delle automobili a *fuel cells* a impatto zero.

2.3 Oltre il nucleo: materia strana, iperoni ed altra materia

Lasciamo il muone e torniamo ai *veri mesoni*. I mediatori della forza nucleare, poi denominati, pioni, furono rilevati nel 1947 (nella forma carica) in una collaborazione di Cecil Powell, César Lattes e Giuseppe Occhialini analizzando le emulsioni fotografiche di raggi cosmici. In seguito si scoprì come generare artificialmente i pioni bombardando il carbonio con raggi alfa. I pioni sono presenti in tre stati di carica – π^+, positivo, π^-, negativo, e π^0, neutro – ed hanno una massa solo leggermente superiore a quella del muone. I primi due decadono rapidamente (non così tanto, in realtà …) nei corrispettivi muoni – μ^+ e μ^- – mentre il terzo decade più velocemente in due "lampi di luce", ovvero due fotoni γ. Un insieme di innovazioni tecnologiche per la rivelazione delle particelle (camere a bolle, scintillatori ed altro) e l'acquisizione della capacità di generare artificialmente gli urti (dai primi ciclotroni agli acceleratori di particelle) fecero crescere rapidamente il numero di particelle rilevate – ben oltre le aspettative degli sperimentatori. La maggior parte di queste esibivano vite medie molto ridotte, ben al di sotto dei circa dieci nanosecondi dei pioni carichi; con vita media paragonabile a questi ultimi fu tuttavia individuata una classe di particelle, i mesoni *K*, e la sua variante barionica con cui questi sono correlati, la particella Λ_0 – suggerendo l'esistenza di una legge di conservazione di una proprietà aggiuntiva, che venne identificata poi con la *stranezza*, conservata dalle (rapidissime) interazioni forti, ma non conservata dalle (più lente) interazioni deboli.
Il primo rappresentante della "materia strana", il mesone *K*, si rivelerà in seguito particolarmente interessante fornendo (nella sua variante neutra) un fecondo *framework* di analisi in termini di oscillazioni tra particelle affini (in questo caso $\underline{K_0}/K_0$, K_{0S}/K_{0L}) che poi si dimostrerà estremamente efficace con i neutrini – e sarà ripreso nell'esperimento LHCb del Cern, ora ai suoi primi passi, che userà allo scopo il più pesante mesone *B*. Come si comprenderà in seguito, i *K*, costituiti come tutti i mesoni da coppie di quark-antiquark, contengono una variante di quark più massivo della materia ordinaria, il quark *strange* (*s*). Contiene tale quark anche la già citata Λ_0, una sorta di "neutrone pesante" e primo rappresentante della famiglia degli *iperoni*, osservati per la prima volta nel 1947 da Rochester e Butler, studiando i raggi cosmici e in seguito prodotti negli acceleratori di particelle.
Con gli iperoni si possono generare nuclei di materia strana, detti ipernuclei, che riscuotono interesse perché estendono (cfr. Figura 8) la tabella periodica verso (iper-)isotopi pesanti in grado di aggregare più neutroni (un esempio è l'idrogeno-7, con un solo protone, cinque neutroni ed una lambda) che potrebbero essere stabili nelle estreme condizioni di pressione esistenti all'interno delle stelle di neutroni (cfr. Figura 9).

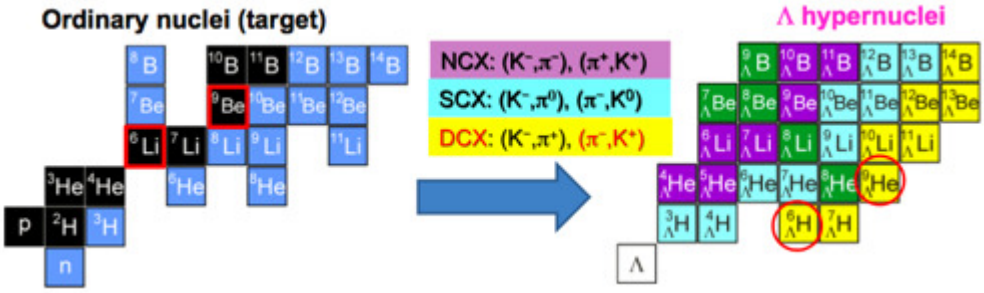


Figura 8 – La tavola periodica degli elementi "estesa" dagli iperisotopi pesanti a base di Λ_0 (immagine da: www.kek.jp).

FINUDA è un esperimento italiano condotto a Frascati dall'INFN che ha già identificato oltre trenta tipi diversi di ipernuclei tra gli oltre centomila prodotti. Come riporta Tullio Bressani in una recente

intervista, "*Nonostante il grande interesse dello studio degli ipernuclei, esso è proceduto piuttosto a rilento fino a qualche anno fa, a causa dell'estrema difficoltà di produrli in numero sufficiente; laboratori stranieri, negli Stati Uniti e soprattutto Giappone, hanno recentemente effettuato un notevole sforzo sperimentale in questo settore di ricerca, ma ancora più significativo è stato lo sforzo fatto in Italia presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'Infn. La sola fase iniziale di raccolta dei dati, che si protrarrà per circa tre mesi, consentirà di produrre diverse centinaia di migliaia di ipernuclei, più o meno quanti sono stati ottenuti e osservati nei primi cinquant'anni dalla loro scoperta*".

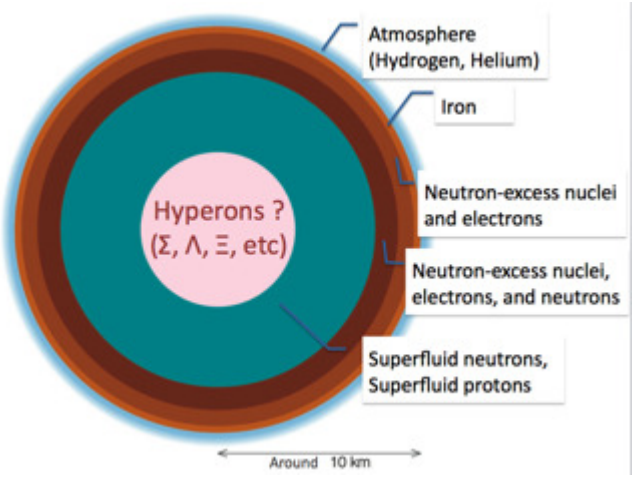


Figura 9 – Ipotesi correnti sulla struttura delle stelle di neutroni supercompatte (immagine da: www.kek.jp).

Un passaggio fondamentale per la comprensione della grande varietà di particelle giunse con le prime intuizioni di Shoichi Sakata del 1956, poi sistematizzate nel 1964 da Murray Gell-Mann e George Zweig che proposero un modello in cui protoni, neutroni e tutto lo *zoo* particellare sono supposti compositi dai quark, dotati di carica pari a 2/3 o -1/3 della carica elettronica. A questo punto mesoni e barioni vengono costruiti un po' come con il lego (o meglio: come il cubo di Rubik … che presenta analogie molto strette con i gruppi di trasformazione cui sono sottoposti i quarks[4]). Nel modello a tre quark, *u* (per *up*, quark "su") con carica +2/3, *d* (per *down*, quark "giù") con carica -1/3, *s* (per *strange*, quark "strano) con carica -1/3, i mesoni emergono come prodotto di rappresentazioni dei gruppi di simmetria come segue,

$$\mathbf{3} \otimes \overline{\mathbf{3}} = \mathbf{8} \oplus \mathbf{1},$$

essendo composti da un quark ed un antiquark, generando nove elementi divisi tra *ottetto* di mesoni e *singoletto*, mentre i barioni, essendo composti da tre quark, sono sistematizzati nello schema seguente

$$\mathbf{3} \otimes \mathbf{3} \otimes \mathbf{3} = \mathbf{10}_S \oplus \mathbf{8}_M \oplus \mathbf{8}_M \oplus \mathbf{1}_A,$$

con 27 elementi nei quali emergono un *decupletto*, due *ottetti* ed un *singoletto* (cfr. l'ottetto in Figura 10).

[4] Cfr. "Rubik's cube and a model of quark confinement", Golomb, Solomon W., American Journal of Physics, Volume 49, Issue 11, pp. 1030-1031 (1981).

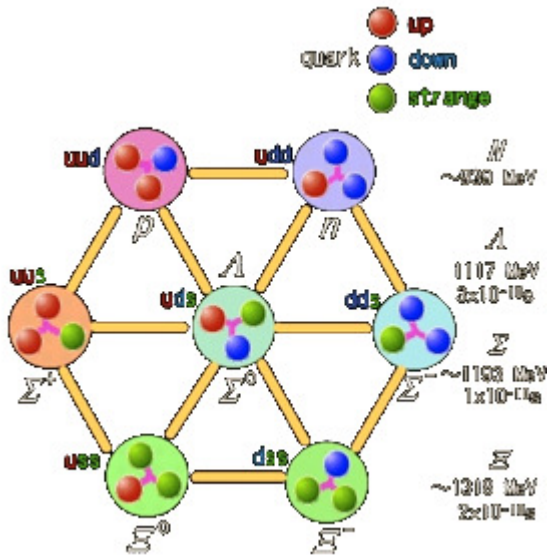


Figura 10 – L'"ottetto adronico" che estende il numero di nucleoni con gli iperoni "strani" (immagine da www.kek.jp). Gli iperoni strani decadono in qualche frazione di nanosecondo.

Al successo nella sistematizzazione delle particelle subnucleari in un quadro complessivo non è corrisposta una rivelazione *diretta* dei quarks nei laboratori. Ciò è dovuto a un'elusiva proprietà della *forza di colore* cui essi sono sottoposti tramite i *gluoni* g_i, che ne impedisce l'esistenza in uno stato libero. Ciò non ha impedito tuttavia agli sperimentatori di continuare con l'identificazione *indiretta* di nuovi quark:

- *c* (per *charm*, quark "incantato") con carica 2/3, tramite la scoperta del mesone J/Ψ, rilevato indipendentemente da due gruppi di ricerca, a SLAC ed a BNL, nel 1974;
- *b* (per *bottom/beauty*, quark "basso/bello") con carica - 1/3, identificato a Fermilab nel 1977[5];
- *t* (per *top*, quark "alto") con carica 2/3, identificato al Tevatron di Femilab nel 1995; si noti che, per via della sua enorme massa (equivalente al peso di un intero nucleo di oro, che conta quasi duecento nucleoni al suo interno) e della sua brevissima vita, non riesce neppure a legarsi con gli altri quark (in gergo, *non adronizza*).

Nel frattempo si è compreso che la materia, composta di quark e leptoni (come l'elettrone ed il muone) interagiscono con una logica per *generazioni*. Dove la prima, quella dei quark "su" *u* e "giù" *d* (ovvero del protone, del neutrone e dei pioni che il mantengono insieme nei nuclei), dell'elettrone *e* e di una prima forma di neutrino ν_e è la materia ordinaria, quella che conosciamo e di cui siamo fatti. La seconda generaziome, composta dal quark "strano" *s*, dal quark "incantato" *c*, dal muone μ e dal neutrino ν_μ), come pure la terza, composta dal quark "bottom" *b*, dal quark "top" *t*, dal leprone τ e dal neutrino ν_τ), sono delle forme *esotiche* di materia, che si forma solo ad energie e pressioni particolarmente elevate e che è instabile in condizioni ordinarie. Si hanno indicazioni che vi siano *solo queste tre generazioni* e non altre. Ma non è per niente chiaro il motivo per cui vi siano questi strani omologhi instabili dei costituenti fondamentali della materia ordinaria. Il quadro ora è completo per una *nuova tabella degli elementi* (cfr. Figura 11, dove sono riportati anche le particelle che mediano le forze elettromagnetica, nucleare debole e nucleare forte). E ritorna spontanea la domanda di Isidor Isaac Rabi: "Il muone, ma chi l'ha chiesto?".

[5] Il quark *b* era stato proposto su un piano teorico qualche anno prima da Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa per spiegare l'esistente asimmetria CP (per inversioni contemporanee di carica e parità "destra-sinistra"). Entrambi sono stati insigniti nel 2008 del premio nobel per la fisica nel 2008.

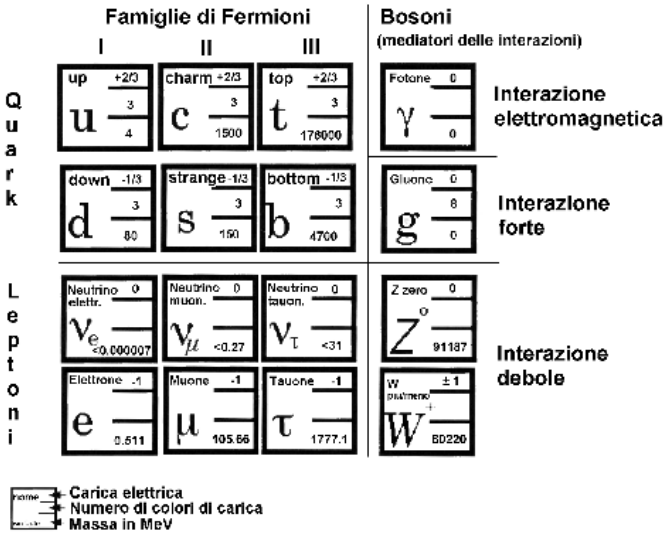


Figura 11 – La "tabella periodica degli elementi" subnucleare. Immagine da: buonbros.it.

2.4 I "fantasmi" che ci attraversano – dai neutrini alla materia oscura

Torniamo per un momento alle *interazioni deboli*, quelle responsabili della radioattività (e dei decadimenti subnucleari più "lenti" come quello del muone, dei pioni o delle particelle strane). Bisogna notare che la probabilità delle interazioni (e quindi la prossimità di interazione) è correlata alle *masse* delle particelle che portano la forza, che sono denominate *bosoni vettori*. La forza elettromagnetica è intermediata dal fotone γ, particella a massa nulla, che comporta interazioni a lago raggio e consente decadimenti molto rapidi. Anche la forza nucleare è intermediata da particelle a massa nulla (otto tipi di gluoni g_i), che quindi rendono molto veloci le transizioni *permesse*; il confinamento caratteristico della forza di colore rende però a corto raggio l'interazione, che vede i nucleoni interagire solo se vicini entro qualche diametro nucleare. Quando le transizioni elettromagnetiche e nucleari non sono permesse, entra in gioco tuttavia l'interazione debole, che è intermediata da particelle estremamente massive, i bosoni W^+ / W^- e Z^0, che si collocano intorno alle 80/90 masse protoniche, e questi in qualche modo devono essere generati implicitamente in forma virtuale nel momento in cui avviene un'interazione debole. Tali particelle, prima ipotizzate nel 1968 da Glashow, Steven Weinberg, e Salam, furono rivelate a LEP sotto la supervisione di Carlo Rubbia nelle collaborazioni sperimentali UA1 e UA2 nel 1983. Una volta chiarito il ruolo dei bosoni vettori intermedi $W^{\pm}$ e Z^0, possono essere meglio compresi i processi di decadimento Il decadimento del neutrone è ad esempio più correttamente rappresentabile come in Figura 12, dove viene scambiata una W^-.

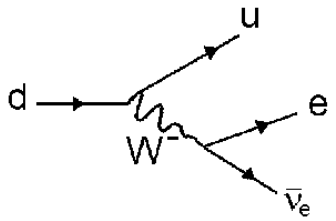
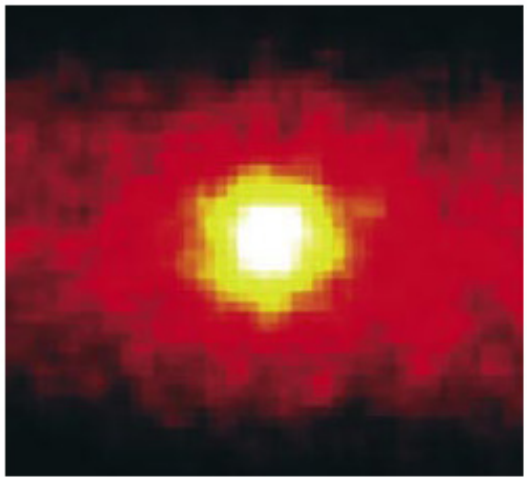


Figura 12 – Il decadimento del neutrone rivisto come processo subnucleare. Immagine da: buonbros.it

Il processo necessario per giungere ad una visione coerente di come interagiscano le particelle ha richiesto alcuni passaggi un po' distanti dal senso comune, come l'introduzione (si badi bene,

necessaria) di una anomala particella che, da sola, si porta il segreto delle masse così diverse, lo sfuggente *bosone di Higgs*[6], nonché diversi *insight*, tra cui la comprensione che le interazioni deboli *vedono* i quark un po' mescolati, come un astigmatismo che "ruoti" tra di loro i quark. Si tratta dell'intuizione fondamentale di Cabibbo, espressa in uno studio pubblicato su Physical Review nel 1963, considerato il lavoro più citato nel mondo della fisica, che introdusse un angolo di rotazione che ora porta il suo nome. Per uno strano paradosso è stato assegnato il Nobel ai due fisici giapponesi Kobayashi e Maskawa che hanno completato il suo lavoro proponendo un sistema di rotazione sulle tre generazioni ma non al suo primo scopritore, Nicola Cabibbo.
Il motivo per cui il neutrino è così elusivo è connesso proprio alla *difficoltà* (in termini statistici) di superare la barriera quantistica connessa alla creazione delle (pesanti) *W* virtuali in modo da generare un'interazione con la materia. Perché il neutrino non ha altri modi per interagire (a parte un'ancora più debole interazione gravitazionale) se non per via dell'interazione debole. Ecco quindi come mai riesce ad attraversare il nostro pianeta senza quasi accorgersi della sua presenza. Ed ecco la difficoltà che si presenta agli scienziati ove si voglia rivelarne la presenza (da fonti terrestri, solari o extrasolari) ed evidenziarne le oscillazioni tra una specie di neutrino (elettronico, muonico, tauonico) e l'altra. Ciononostante, queste rivelazioni sono state condotte, come di recente avvenuto nell'esperimento Opera dei Laboratori del Gran Sasso che ha osservato per la prima volta[7] la trasmutazione di un neutrino ν_μ (generato al CERN) in un neutrino ν_τ. (rilevato al Gran Sasso dopo 730 km di viaggio sotto la crosta terrestre) e sono in effetti i primi indicatori di una *nuova fisica* oltre il cosiddetto *modello standard* (quello che spiega i fenomeni di interazione debole, elettromagnetica e forte ma non ne motiva i parametri fondamentali come masse e forze di interazione). E che in qualche modo ci sta offrendo una nuova finestra osservativa, assolutamente alternativa alle modalità cui siamo più abituati (cfr. Figura 13).

[6] Il meccanismo di rottura della simmetria alla base del modello di generazione delle masse è stato proposto nel 1964 da François Englert e Robert Brout; Gerald Guralnik, C. R. Hagen e Tom Kibble; Peter Higgs (da cui ha preso il nome), e consente a tutte le particelle, tramite opportuni accoppiamenti con il *bosone di Higgs*, di avere una massa non nulla. Denominato talvolta proprio per questo "particella di Dio", il bosone di Higgs non è ancora stato rivelato – ma ci sono buone speranze che nei prossimi anni LHC possa completare il quadro del *modello standard* identificando questo ultimo, importante tassello.
[7] Cfr. "L'ago nel pagliaio", di Pasquale Migliozzi e Francesco Terranova, in "Le Scienze" n. 509, gennaio 2011, pp. 50-55.



Super-K produced this neutrino "image" of the Sun by detecting neutrinos from nuclear fusion in the solar interior. (IMAGE : Institute for Cosmic Ray Research, Tokyo)

Figura 13 – Il sole visto *dai neutrini*. Immagine dell'*Institute for Cosmic Ray Research*, Tokyo.

Le osservazioni astrofisiche hanno di recente suggerito che insieme al neutrino potrebbero essservi dei fantasmi ancora più inquietanti, perché supposti tali da fornire una larga quota della massa "nascosta" all'osservazione diretta, stimata essere pari a *sei volte la massa ordinaria*.[8] Una massa invisibile, sorta di "supporto nascosto"[9] al nostro universo conosciuto tanto che la materia che si sta cercando viene denominata *materia oscura* – in forma, secondo i modelli più accreditati, di una particella stabile (!!!) ma sensibile, come il neutrino, solo all'interazione debole, e che magari si accumulerebbe naturalmente nei nuclei di pianeti e delle stelle e nell'alone delle galassie (a spiegare la strana dinamica dei bracci a spirale rilevata dai telescopi). La sua stabilità sarebbe dovuta ad una simmetria che da tempo affascina i fisici, la *supersimmetria*, che porterebbe su uno stesso piano la materia (ovvero i *fermioni* come quark e leptoni) ed i mediatori delle forze (ovvero i *bosoni*, come fotone, gluoni, $W^{\pm}$ e Z^{0}). La rivelazione di questa elusiva e controversa particella, che potrebbe essere alla portata delle energie di LHC, o magari potrebbe venire rivelata per via astrofisica dai lampi di annichilazione (si suppone sia l'antiparticella di sé stessa), aprirebbe alla conoscenza ed alla sperimentazione interi nuovi settori della fisica – ma soprattutto, ci consentirebbe di "vedere" un altro universo inesplorato che è da sempre stato, seppur non rilevato, *sovrapposto* al nostro. E magari avvicinarci al grande segreto dell'*energia oscura*, che a quanto risulta dalle rilevazioni cosmologiche più recenti dovrebbe nascondere i *¾ dell'energia totale* del nostro universo.

[8] Per un recente approfondimento divulgativo, cfr. "Il lato oscuro dell'universo, di Jonathan Feng e Mark Trodden, in "Le Scienze" n. 509, gennaio 2011, pp. 34-41.

[9] Per fare un'analogia in campo biologico, le strutture su larga scala dell'universo del combinato materia visibile / materia oscura richiamano il modo in cui i neuroni del nostro cervello sono supportati e nutriti dalle cellule gliali, presenti in una quantità pari a nove volte i neuroni.

3. Grandi infrastrutture di ricerca per l'Europa del prossimo futuro: *overview* sulle *megareti*

3.1 LHC ed il modello della *Big Science*

Il *Large Hadron Collider* (in sigla LHC) rappresenta il risultato di uno sforzo scientifico ed ingegneristico, una sfida straordinaria portata avanti da quando è emersa l'idea di riutilizzare i tunnel del *Large Electron Positron Collider* (LEP) facendovi circolare i più pesanti e quindi meno sensibili alle perdite per radiazione di quanto non fossero elettroni e positroni. LHC è stato costruito e viene gestito dal CERN, un'organizzazione fondata nel 1954 che vede ad oggi venti paesi membri finanziare le sue attività di ricerca site a Ginevra al confine franco-svizzero. Tra personale, ingegneri e ricercatori ospitati, sono circa diecimila le persone delle più diverse nazionalità ed afferenti a centinaia di istituzioni che collaborano attivamente nella fisica delle alte energie. A fronte di un bilancio annuale corrente del Cern superiore ai seicento miliardi di euro (cui contribuisce con oltre il 10% il nostro Paese), le spese sostenute per la costruzione di LHC sono nell'ordine dei dieci miliardi di euro.

Per spiegare LHC riportiamo i suoi impressionanti numeri di cui ci informa l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (cfr., tra gli altri, il sito www.infn.it/lhcitalia):

Dimensioni: LHC è la macchina acceleratrice più grande del mondo.
Non esiste al mondo una struttura con una circonferenza di 27 km, pur contenendo la massa sotto le quarantamila tonnellate, prevalentemente concentrate nei quattro grossi rivelatori CMS, ATLAS, ALICE, LHCb. Il tunnel sotterraneo di LHC, cento metri sotto il confine franco-svizzero nell'area vicino a Ginevra, ospitava in precedenza il LEP.

Temperatura: LHC è mantenuto in gran parte a temperature vicine allo zero assoluto (-271). Per contro, in alcune collisioni si hanno temperature dell'ordine delle migliaia di miliardi di gradi.
.

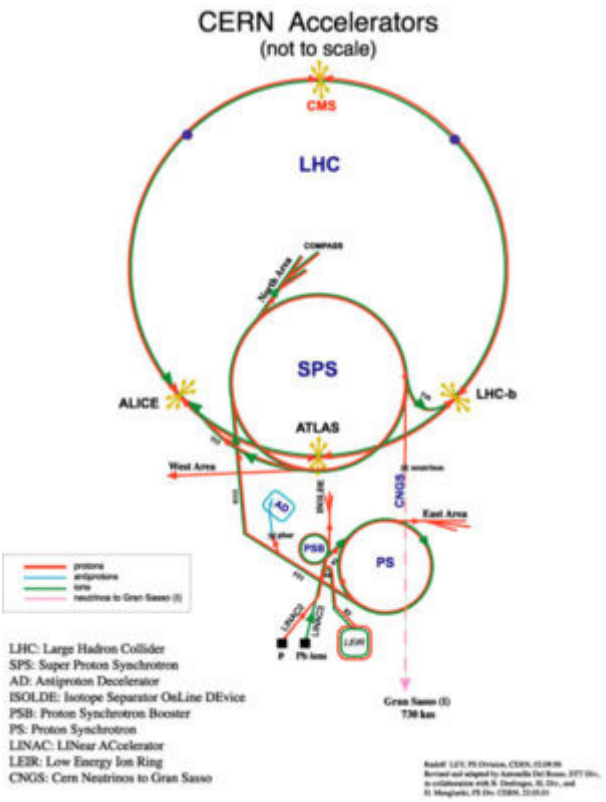


Figura 14 – Schema di LHC e dei suoi pre-acceleratori locati nel laboratorio del CERN di Ginevra (immagine da: web.infn.it/cms).

Energia e risoluzione: LHC è il più potente acceleratore esistente. È anche il microscopio con maggiore risoluzione mai costruito.
I protoni, alla massima energia di 7 TeV, viaggiano praticamente alla velocità della luce (a meno di qualche miliardesimo), percorrendo oltre undicimila giri completi al secondo – dove un giro è pari a quasi trenta chilometri. Vi sono due fasci che percorrono l'anello in direzioni opposte. L'ordine di grandezza delle energie in gioco dei protoni, nell'ordine dei TeV = teraelettronvolt, 10^{12} eV, ossia circa diecimila volte della loro energia a riposo. A tali energie corrisponde una risoluzione equivalente di 10^{-18} m, un miliardesimo di nanometro (un *attometro*).

Collisioni: i fasci di protoni si incrociano 40 milioni di volte al secondo. Numero di collisioni a regime: fino a 25 tra protoni ogni 25 nanosecondi (miliardesimi di secondo), cioè circa un miliardo di collisioni al secondo. Nei punti di incontro, collocati in corrispondenza dei quattro esperimenti ATLAS, CMS, LHCb ed ALICE, l'energia è pari alla somma dell'energia dei protoni incidenti, 14 Tev.

Campo magnetico: *LHC fa leva sulle più avanzate tecniche per produrre potenti campi magnetici con grande efficienza.*
LHC è formato da quasi duemila magneti superconduttivi (una variante dei conduttori dove la resistenza elettrica è praticamente nulla) che emettono un campo magnetico confinante che alla sua massima intensità è di circa dieci *tesla*, oltre duecentomila volte il campo magnetico terrestre. La pressione che questo genera è pari a quattrocento atmosfere per metro lineare, ed induce un assorbimento di cinquanta *megawatt* di energia elettrica (che sarebbero oltre mille se i quasi diecimila ampere di corrente transitassero su conduttori ordinari!). L'efficace collimazione dei fasci ha inoltre richiesto una precisione costruttiva senza precedenti: ciascuno degli oltre seimila

filamenti superconduttori al nobio-titanio presenti in LHC ha uno spessore di pochi millesimi di millimetro, dieci volte più sottili di un capello umano.

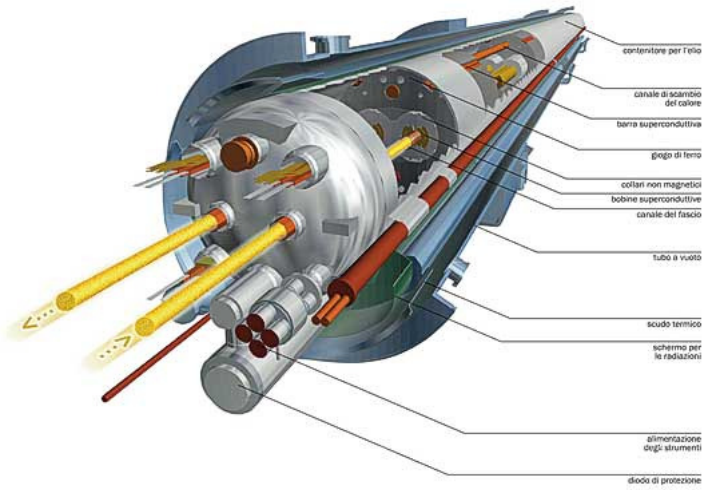


Figura 15 – Sezione dei sistemi magnetici di contenimento del fascio in LHC (immagine da: www.asimmetrie.it).

Petabytes: LHC è la più grande fabbrica di informazione del mondo. Sono prodotti ogni anno oltre 15 *petabytes* (1 petabyte = 1000 terabytes = 1 milione di gigabytes) sui quali lavorano senza sosta circa centomila unità di calcolo coordinate in una rete distribuita geograficamente su più continenti secondo un modello che non ha pari in termini di efficacia ed economicità nello sfruttamento delle disponibilità di *computing* e di *storage*. Il sistema di calcolo richiesto da LHC ha di fatto indotto un'evoluzione tecnologica nel campo del *grid & cloud computing* di portata paragonabile a quanto avvenuto con *internet* nei tempi di LEP.

3.2 Il "poker" italiano dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Presi come siamo dalle nostre vicende nostrane, noi italiani talvolta non ci accorgiamo delle situazioni di eccellenza nelle quali il nostro valore viene ampiamente riconosciuto. È il caso delle nomine per gli esperimenti di LHC.

Riportiamo il messaggio stampa dell'INFN del 28 settembre 2010: *"Quattro italiani sui quattro più grandi esperimenti dell'acceleratore LHC al CERN di Ginevra. Pierluigi Campana, dirigente di ricerca dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Frascati, è stato eletto al coordinamento internazionale (spokesperson) di LHCb. Entrerà in carica a maggio 2011 prendendo il posto di Andrei Golutvin (ricercatore dell'ITEP di Mosca e dell'Imperial College di Londra. Campana resterà in carica per tre anni. Dopo Fabiola Gianotti (spokesperson di ATLAS), Guido Tonelli (CMS) e Paolo Giubellino (ALICE) la fisica italiana coglie un altro riconoscimento al suo valore internazionale, confermandosi una delle più importanti scuole del mondo. […]. Per Pierluigi Campana ci troviamo in 'un momento magico di LHCb che già alla luminosità attuale può cominciare a vedere nuova fisica, oltre che fare misurazioni più accurate della violazione di CP (il fenomeno che ha prodotto l'asimmetria tra materia e antimateria)'. […] "*.

Insomma, la fisica italiana sta svolgendo un ruolo di primissimo piano in tutti e quattro i grandi esperimenti di LHC: CMS, ATLAS, ALICE e LHCb. Ma vediamo di cosa si tratta più in dettaglio.

CMS – *Compact Muon Solenoid*

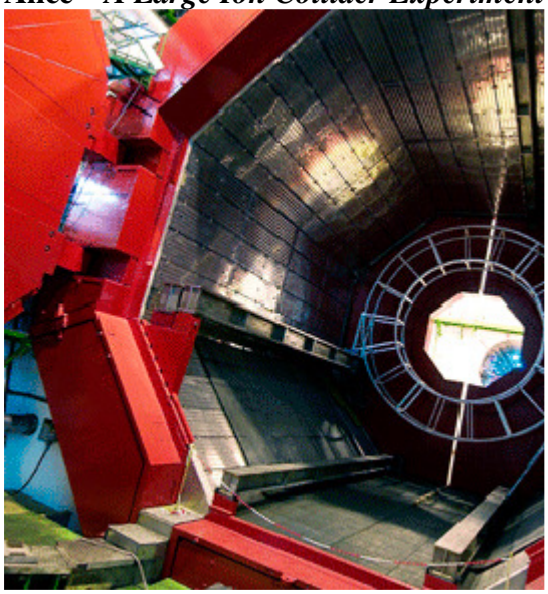
Certo, denominare "compact" una gigantica struttura come questa, pesante dodicimila tonnellate, lunga oltre venti metri e larga quindici sembra un modo scherzoso per definire questo rivelatore. In CMS c'è più ferro che nella Tour Eiffel. Le dimensioni sono imposte dal lungo cammino medio degli energetici muoni (secondari) che CMS è costruito per osservare con grande precisione. Questi "penetranti elettroni pesanti" alle energie di rilevazione richiedono infatti decine di metri per fermarsi. La forma ed il nome (*solenoid*) sono connessi al fatto che il rivelatore contiene una enorme bobina superconduttrice attraversata da una corrente di ventimila ampere che produce un campo magnetico in grado di deflettere le particelle cariche e quindi di misurarne i fattori cinematici.

Come leggiamo dal sito web.infn.it/cms, "l'apparato sperimentale di CMS ha una struttura a "scatola cinese" e i suoi rivelatori sono immersi in un forte campo magnetico di quattro *tesla* realizzato grazie al più grande solenoide superconduttore mai realizzato al mondo capace di immagazzinare un'energia di 2,4GJ. CMS è stato disegnato per ottenere massima efficienza e precisione nella rivelazione di fotoni, elettroni, muoni, leptoni tau, jet, jet originati da quark b ed energia mancante indice della presenza di particelle neutre elusive. L'apparato è quanto più ermetico possibile e arriva a coprire in angolo fino a circa un grado dalla linea dei fasci. Se pure di grandi dimensioni rispetto ad esperimenti del passato – ben *quindici metri* di diametro per *ventidue* di lunghezza ed un peso pari a quasi *quindicimila tonnellate* – CMS è un apparato elegantemente compatto. L'INFN è fortemente coinvolto in CMS, circa duecentocinquanta fisici e ingegneri provenienti da quattordici Sezioni e due Laboratori Nazionali lavorano all'esperimento. "

ATLAS – *A Toroidal Lhc ApparatuS*

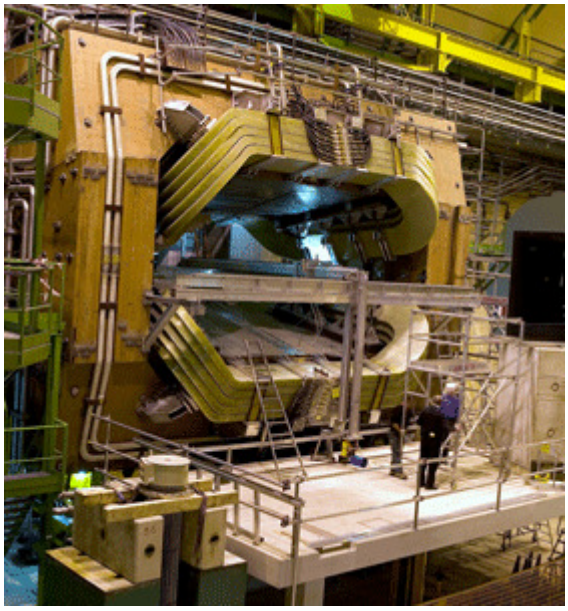
È proprio il magnete, il più grande mai realizzato, l'elemento che caratterizza questo rivelatore, ancora più grande di CMS – si pensi che ATLAS raggiunge quasi *cinquanta metri* di lunghezza, *venticinque* metri di altezza e *settemila tonnellate* di peso. Con un campo magnetico estremamente intenso, pari a due *tesla*, ed una serie di strumenti di misura di precisione, pone il suo staff in forte competizione scientifica con CMS per la rivelazione di eventi indicativi di nuova fisica.

Alice – *A Large Ion Collider Experiment*



Mentre CMS ed ATLAS indagano sulla materia analizzando urti protone-protone, Alice studia le collisioni tra gli oggetti più pesanti che possono utilizzati in questa scala: *nuclei di piombo*. Le temperature che si vengono a creare in tali collisioni sono dell'ordine dei duemila *miliardi* di gradi. In queste condizioni si cercano nuovi stati della materia in forma di plasma quark-gluoni. Anche Alice è un grande rivelatore – *ventisei metri* di lunghezza per *sedici metri* di altezza e *diecimila tonnellate* di peso.

LHCb – *Large Hadron Collider beauty*



Beauty in questo caso significa *mesone B* (che contiene un quark *bottom*, e quindi ha come proprietà conservata *beauty,* la *bellezza*), una particella molto interessante perché in grado di fornirci preziose informazioni sull'asimmetria tra materia ed antimateria. Il mesone *B* assomiglia nel suo comportamento ai mesoni *K*, ma essendo costituito dal più pesante quark (eccettuato il top, che però non riesce a "legare") può mostrare gli effetti in forma più marcata consentendo di evidenziare differenze di comportamento molto sottili ma a questo punto rilevabili. È il rivelatore più piccolo – ma "piccolo" per modo di dire: oltre *venti metri* di lunghezza per *dieci* di altezza per *diecimila tonnellate* di peso.

3.3 Sulla scia di LHC: le grandi prossime grandi *Research Infrastructures*

Può sembrare un progetto interessante solo per i fisici, LHC. Ma la realtà è che LHC rappresenta uno straordinario *modello*. Un modello per come possono essere condotte le grandi intraprese del terzo millennio, possibili grazie alle tecnologie avanzate di cui oggi disponiamo, alle risorse scientifiche, culturali, economiche ed alle nuove modalità di collaborazione attuabili su scala continentale e mondiale.
ESFRI (*European Strategy Forum on Research Infrastructures*), formato nel 2002, è un organismo che ha lo scopo di favorire la formazione di una rete europea delle infrastrutture di ricerca (*Research Infrastructures, in sigla RIs)* integrando le risorse nazionali in un comune circuito Europeo di ricerca e innovazione.[10] Il *forum* riunisce rappresentanti degli Stati Membri dell'Unione Europea e degli Stati Associati, nominati dai ministri della ricerca in carica, e un rappresentante della Commissione Europea, con l'obiettivo di sviluppare e coordinare opportune politiche di sviluppo delle grandi infrastrutture europee più avanzate a supporto della ricerca in tutti i campi principali.
ESFRI in qualche modo rappresenta una linea di sviluppo delle grandi infrastrutture di ricerca di "classe LHC", ovvero parimenti grandi ed impegnative, e potenzialmente *disruptive* in termini del salto in termini di conoscenza ed innovazione che potranno consentire a questo concentrato di civiltà, scienza e conoscenza che è la nostra Europa. Quelle di ESFRI sono delle vere e proprie "autostrade per l'accelerazione dello sviluppo scientifico e tecnologico" che ci stiamo apprestando a costruire in tutto il continente europeo e nel mondo intero.
Come ricorda in una intervista il suo presidente (italiano!) Prof. Carlo Rizzuto, la *roadmap* di ESFRI è una proposta a tutti i paesi europei per favorire *l'integrazione e lo sviluppo strategico dei*

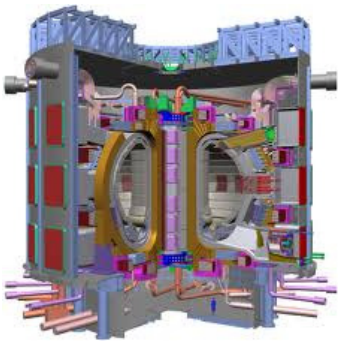
[10] Cfr. http://ec.europa.eu/research/infrastructures/index_en.cfm?pg=esfri.

laboratori, la mobilità dei ricercatori e il loro accesso comune alle migliori tecniche e basi di dati. L'aggiornamento del 2008 segnala come strategici 44 progetti (erano 35 nel 2006) scelti su oltre 250 proposti dai governi, attraverso un accurato sistema di *peer review*, per altrettante infrastrutture in tutti i campi di ricerca, dalle Scienze Umane e Sociali alle Scienze Ambientali e Fisiche, con una forte componente delle Scienze Biomediche e con grande attenzione alle grandi sfide del nostro tempo, come l'ambiente, la salute, il cibo e l'energia. È previsto a breve un ulteriore aggiornamento della *roadmap*.
Nel seguito riportiamo una sintesi delle diverse iniziative, includendo anche qualche elemento non ESFRI, allo scopo di portare a conoscenza dei lettori l'ampio ventaglio di iniziative che sono in corso o in prossimità di essere attivate, della sfida sottesa e del valore in termini di innovazione tecnologica, culturale, scientifica e sociale che queste imprese comportano.
Abbiamo diviso gli ambiti in: energia, laboratori sui materiali, fisica ed ingegneria, e-*infrastructures*, *biomed*, scienze della terra e *humanities*.

3.2.1 Energia

La disponibilità, in un contesto di approvvigionamenti sicuri, di risorse energetiche economicamente competitive, rispettose dell'ambiente e sostenibili, rappresenta un elemento chiave per lo sviluppo europeo. Ad oggi l'Unione Europea è all'avanguardia nell'uso efficiente dell'energia, nella promozione di forme nuove e rinnovabili e nello sviluppo di tecnologie a basse emissioni di carbonio. Tutto ciò si fonda sulla disponibilità di un gran numero di *facilities* di prova e di una vasta gamma di infrastrutture di ricerca. Includiamo nell'elenco che segue, oltre ai progetti ESFRI, anche la grande impresa rappresentata da ITER, comparabile anche dimensionalmente ad LHC in termini di impegno economico e di sfida scientifica che, mimando quanto avviene all'interno delle stelle, mira ad aprire all'umanità le porte di una fonte di energia potente, pulita e virtualmente inesauribile – *l'energia da fusione termonucleare*.

ITER – già *International Thermonuclear Experimental Reactor*



Operativo dal 2018, costo previsto: *dieci miliardi di euro*.
Sito web: www.iter.org.

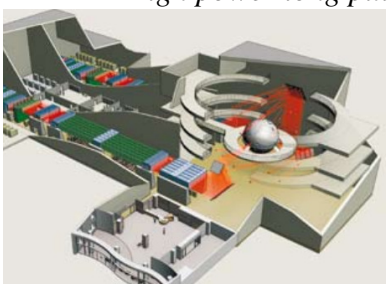
Il progetto internazionale ITER, che in latino significa cammino, si propone di realizzare un reattore a confinamento *tokamak* (un modello di reattore a "ciambella supercalda" dove la materia è fondinata con potenti campi magnetici) in grado di portare a fusione gli isotopi pesanti dell'idrogeno, il deuterio ($H^1{}_2$) ed il trizio ($H^1{}_3$), superando il *break-even* energetico e quindi dimostrando la fattibilità di impianti commerciali di produzione di energia per fusione. Potenza "di targa" *500 megawatt* producibili per circa quindici minuti. Il reattore è in costruzione nel sud della Francia, a Cadarache. Si tratterà di un prototipo dimostrativo, cui dovrà seguire un reattore di produzione, già annunciato (DEMO).

ECCSEL – *European Carbon Dioxide and Storage Laboratory infrastructure*

Operativo dal 2011, 81 mln € di avvio, 6 mln€/aa.
Sito web: www.sintef.no/Projectweb/ECCSEL

La gravità del problema rappresentato dal continuo incremento della CO_2 in atmosfera impone soluzioni che possono sembrare paradossali, come la *sequestrazione* della stessa in grandi depositi sotterranei in forma liquida. Il progetto ECCSEL combina tre diverse strategie per catturare la CO_2: (1) pre/post combustione O2/CO2; (2) *oxyfuel*; (3) riciclo della cattura da combustione. Insieme a tre diverse strategie per lo stoccaggio: (a) acquiferi, (b) campi esauriti di petrolio/gas, (c) *coal bed methane*. Il progetto include l'evoluzione delle attuali infrastrutture nazionali ad un livello europeo. La *facility* aggiornata è composta di strutture distribuite in differenti paesi e di un centro di coordinamento in Norvegia.

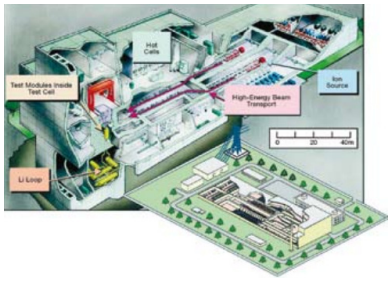
HiPER – *High power long pulse laser for fast ignition fusion*



Operativo dal 2020+, 800 mln € di avvio, costi/aa in discussione.
Sito web: /www.hiper-laser.org

La fusione via anelli *tokamak* non è l'unica strategia esistente: la *fusione inerziale via laser di alta potenza* è un'alternativa competitiva. HiPER è un'iniziativa tesa a portare l'Europa nella posizione di leadership nella scienza delle condizioni estreme e nello sviluppo di un percorso attuabile verso la produzione di energia da fusione inerziale. Ciò è reso possibile con l'avvento di una nuova strategia alla fusione via laser nota come *fast ignition*. In HiPER ha luogo una unica combinazione di fasci a brevi e lunghi impulsi. L'adattamento del laser LIL per incorporare un singolo fascio a breve impulso (chiamato PETAL) sarà utilizzato per dare una dimostrazione anticipate della tecnica di accensione rapida e dell'associata infrastruttura, e come un mezzo per sviluppare la comunità tecnologica dei laser.

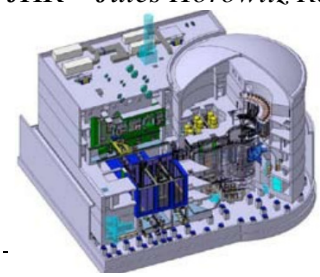
IFMIF – *International Fusion Materials Irradiation Facility*



Operativo dal 2020, 1000 mln € di avvio, 150-80 mln€/aa.
Sito web: http://www.frascati.enea.it/ifmif/

Per raggiungere la dimostrabilità della fusione termonucleare per produzione energetica controllata è necessario approfondire le tecniche derivate dagli acceleratori. IFMF è una sorgente basata su un *flusso neutronico di alta intensità* che utilizza una reazione di *stripping* deuterio-litio con l'obiettivo di raccogliere i dati necessari per i materiali di costruzione di un reattore a fusione. Anche se IFMF non si basa su tecnologie aggressivamente innovative, il suo sistema di fasci di potenza da *2 x 5 megawatt* è di gran lunga *il più potente mai costruito*.

JHR – *Jules Horowitz Reactor*



Operativo dal 2014, 500 mln € di avvio, 24-33 mln€/aa.
Sito web: www.cad.cea.fr/rjh

Una serie di ricerche per il test dei materiali da fissione sono necessarie per portare ad uno stadio più avanzato i reattori nucleari. Questo reattore

di ricerca andrà a verificare le condizioni dei materiali soggetti ad elevati flussi di irradiazione da neutroni.

3.2.2 *Facilities* per la manipolazione e l'analisi di materiali

Lo sviluppo di nuovi materiali contribuisce a tutte le aree di attività umana – dalla generazione ed accumulo dell'*energia* passando per le tecnologie *medicali* per arrivare ai componenti dei *computer*. Le evoluzioni nei materiali dalle lame di acciaio ai materiali biologici, passando per i fluidi ed i plasmi, sono state sostenute dalla capacità di osservare, progettare ed assemblare tali elementi con capacità sempre maggiori. Una tale abilità ha consentito uno sviluppo industriale ed economico continuato per oltre un secolo dove sempre nuovi e sofisticati prodotti sono stati introdotti, che fossero catalizzatori o telefoni cellulari o nuovi farmaci, ed ha favorito un continuo miglioramento dei prodotti tradizionali, dai motori ai vetri per uso residenziale all'abbigliamento. Questo fronte di ricerca, forse meno noto al grande pubblico è nei fatti *il più vicino a ricadute tecnologiche* utili a tutti noi.

EMFL – *European Magnetic Field Laboratory*

Operativo dal 2015, 120 mln € di avvio, 8 mln€/aa.
Sito web: www.emfl.eu

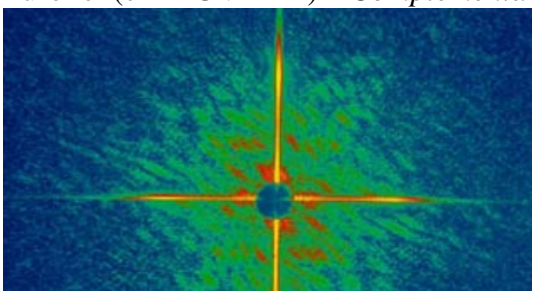
L'EMFL sarà un grande laboratorio *multi-site* in grado di generare i più potenti campi magnetici, continui o ad impulsi, per scopi di ricerca. Il modello operazionale prevede una infrastruttura di ricerca distribuita che integra e migliora i quattro maggiori laboratori per campi magnetici di elevata potenza attualmente operanti in Europa: il *Grenoble High Magnetic Field Laboratory* (GHMFL), il *Laboratoire National des Champs Magnétiques Pulsés* (LNCMP) di Tolosa, l'*Hochfeld-Magnetlabor Dresden* (HLD), e l'*High Field Magnet Laboratory* (HFML) di Nijmegen. L'EMFL consentirà all'Europa di conquistare la leadership nella produzione e nell'utilizzo di campi magnetici di altissima intensità per scopi di ricerca.

ESRF Upgrade – *European Synchrotron Radiation Facility*

Operativo dal 2009-2014, 238 mln € di avvio, 83 mln€/aa.
Sito web: www.esrf.eu

Sito in Grenoble, Francia, ESRF è una *joint facility* attivata tramite accordi internazionali, supportata da 18 Paesi Europei ed Israele. ESRF opera la più energetica *luce di sincrotrone* europea e consente a ricercatori di diverse discipline, che includono fisica, chimica, scienza dei materiali, biologia, medicina, geofisica ed archeologia, di utilizzare il fascio per scopi sperimentali. ESRF consente anche diverse applicazioni industriali, in ambito farmaceutico, cosmesi, petrolchimica, microelettronica.

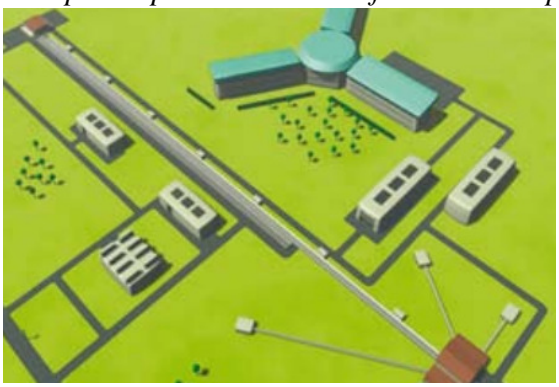
EuroFel (ex IRUV-FEL) – *Complementary Free Electron Lasers in the Infrared to soft X-ray range*



Operativo dal 2007-2020, 1200-1600 mln € di avvio, 120-160 mln€/aa. Sito web: www.eurofel.eu

Gli intensi fasci di luce dall'infrarosso ai raggi X soft sono ottimi strumenti di indagine per analizzare le proprietà elettroniche della materia, e come tali sono sistematicamente utilizzati da un'ampia comunità di ricercatori. I laser ad elettroni liberi – *Free Electron Lasers* (FELs) – possono oggi produrre fasci in questo *range* di lunghezze d'onda con impulsi nell'ordine dei *femtosecondi* (milionesimi di miliardesimi di secondo), altamente coerenti, con intensità finora mai raggiunte. Il Consorzio EuroFEL (già IRUVX-FEL) ha l'obiettivo di integrare le *facilities* FEL nazionali già operanti in Europa in una infrastruttura di ricerca distribuita ed aperta alle collaborazioni internazionali. L'integrazione potrà dare la massima efficacia alle complementari specifiche e strumentazioni di ciascuna *facility* per studi ad ampio raggio della materia da parte della vasta comunità di ricerca.

European Spallation Source for Neutron Spectroscopy



Operativo dal 2019-2020, 1300 mln € di avvio, 110 mln€/aa. Sito web: ess-scandinavia.eu

L'*European Spallation Source* sarà *la più potente sorgente di neutroni del mondo.* La sua intrinseca aggiornabilità (per andare oltre gli iniziali venti strumenti e per crescere di potenza) le garantirà un periodo di quarant'anni o più di convenienza economica quale *top tier source.* Vera e propria *facility pan-europea*, sarà di supporto ad una comunità di cinquemila ricercatori di diverse aree della scienza e della tecnologia.

European XFEL – *Hard X-ray Free Electron Laser*

Operativo dal 2014, 1043 mln € di avvio, 84 mln€/aa. Sito web: www.xfel.eu

L'*European X-ray Free Electron Laser*, in corso di costruzione ad Amburgo, in Germania, sarà una delle principali *facility* per la generazione di intensi e brevissimi impulsi di raggi X per scopi di ricerca in diverse discipline.

ILL20/20 *Upgrade – Institut Laue Langevin*

Operativo dal 2007-2017, 171 mln € di avvio, 5 mln€/aa. Sito web: www.ill.eu

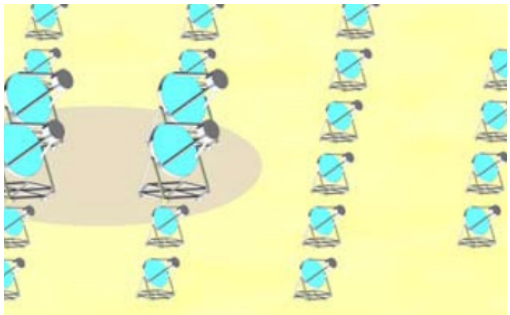
Il reattore nucleare operante all'interno del Laboratorio dell'*Institut Laue Langevin* (ILL) è riconosciuto come la più produttiva ed affidabile sorgente al mondo di *neutroni lenti* per scopi di

ricerca sulla material condensate. Il suo *upgrade* è una risposta *cost-effective* in relazione alle esigenze di breve-medio termine dei ricercatori utenti della struttura.

3.2.3 Scienze Fisiche ed Ingegneria

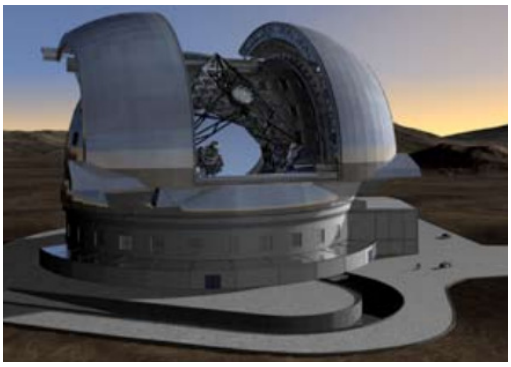
Le scienze fisiche trattano fenomeni di ogni scala e complessità, dall'infinitamente grande all'infinitamente piccolo. La ricerca fondamentale ha negli anni generato diverse nuove questioni irrisolte che coinvolgono astrofisica, fisica delle particelle, fisica nucleare e subnucleare.

CTA – *Cherenkov Telescope Array*



Operativo dal 2013, 150 mln € di avvio, 10 mln€/aa.
Sito web: www.cta-observatory.org

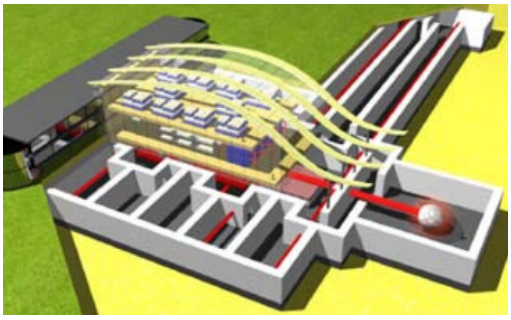
Il *Cherenkov Telescope Array* sarà una *facility* avanzata per l'*astronomia di raggi gamma di alta energia* con base a terra. Operante in *due siti* presenti nei due emisferi *nord* e *sud* del nostro pianeta, consentirà di estendere lo studio dell'origine astrofisica dei raggi gamma ad energie a partire da alcune decine di GeV. Tale infrastruttura sarà in grado di produrre la prima completa e dettagliata mappatura dell'universo in questa parte dello spettro gamma e contribuirà ad una migliore comprensione dei processi astrofisici e cosmologici.



E-ELT – *European Extremely Large Telescope*
Operativo dal 2018, 950 mln € di avvio, 30 mln€/aa.
Sito web: www.eso.org/public/teles-instr/e-elt.html

Gli *ELTs* sono riconosciuti a livello mondiale come le maggiori priorità nell'*astronomia con base a terra*. Con il loro contributo si potrà migliorare ampiamente il nostro livello di conoscenza dell'astrofisica consentendo studi dettagliati sui *pianeti orbitanti attorno ad altre stelle*, sui *primi oggetti dell'universo*, sui *buchi neri supermassivi* e sulla natura e distribuzione della *materia oscura* e dell'*energia oscura* che dominano l'universo. Questo progetto consentirà all'Europa di mantenere e rafforzare la sua posizione come avanguardia della ricerca in astrofisica.

ELI – *Extreme Light Infrastructure*



Operativo dal 2018, 950 mln € di avvio, 30 mln€/aa.
Sito web: www.extreme-light-infrastructure.eu

ELI rappresenta una infrastruttura di ricerca internazionale che verrà resa disponibile ai ricercatori attivi nell'indagine e nelle applicazioni dell'interazione tra materia e luce laser ad altissima intensità, in una scala ad oltre sei ordini di grandezza superiore l'esistente. ELI sarà composta di tre settori: (1) *ultra high field science* per esplorare l'interazione laser-materia fino al limite della *QED non lineare*, compresa la creazione di coppie e^+/e^- e della struttura del vuoto; (2) *attosecond laser science* per condurre ricerca nella dinamica elettronica in atomi, molecole, plasma e solidi su scale temporali pari agli *attosecondi*; (3) sviluppo

di linee di fascio dedicate alla generazione di *ultra short pulses* di altissima energia e di particelle fino a 100GeV per scopi di ricerca.

FAIR – *Facility for Antiproton and Ion Research*

Operativo dal 2016, 1187 mln € di avvio, 120 mln€/aa.
Sito web: www.gsi.de/fair

La *facility* FAIR sarà in grado di fornire *fasci ionici* primari e secondari di alta energia e collimazione, inclusa la possibilità di fornire un *fascio di antimateria* (antiprotoni) che potrà aprire nuove frontiere nella ricerca fisica. L'acceleratore anticipa le tecnologie di prossima ampia adozione – *anelli di accumulazione / raffreddamento di ioni* – e consente sperimentazioni specializzate con bersagli interni. Due sincrotroni superconduttori saranno in grado di produrre fasci di ioni di intensità fino a 35 GeV per nucleone per esperimenti con fasci primari ionici con masse ioniche fino a quelle dell'uranio ed ampie classi di fasci di ioni radioattivi.

KM3NeT – *Kilometre cube Neutrino Telescope*

Operativo dal 2016, 200 mln € di avvio, 5 mln€/aa.
Sito web: www.km3net.org

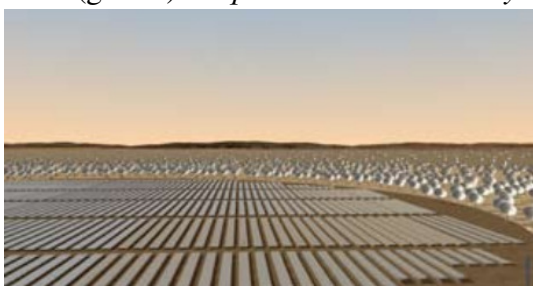
KM3NeT è un'infrastruttura di ricerca in fase di progettazione e realizzazione da collocarsi nelle profondità marine nel mediterraneo. Essa ospiterà un *enorme telescopio per neutrini di un chilometro cubo di dimensioni* per la rilevazione a lungo termine di neutrini cosmici di alta energia che interagiscono con il mare profondo. È come se aprissimo dei nuovissimi "occhi" in grado di vedere su piani finora inaccessibili – per vedere distintamente fenomeni dell'universo ancora a noi sconosciuti.

PRINS – *Pan-European Research Infrastructure for NanoStructures*

Operativo dal 2009-2015, 1400 mln € di avvio, 300 mln€/aa. Sito web: www.prins-online.eu

PRINS è lo strumento infrastrutturale di una più ampia iniziativa di ricerca, l'*ENIAC European Technology Platform*. PRINS farà da connessione tra la ricerca fondamentale e le applicazioni tecnologiche guidate dal mercato e fornirà all'Europa la capacità di gestire adeguatamente la transizione *rivoluzionaria* dalla *microelettronica* verso la *nanoelettronica*, ovvero dai circuiti elettronici sui wafer di silicio fino al *controllo dei singoli atomi.*

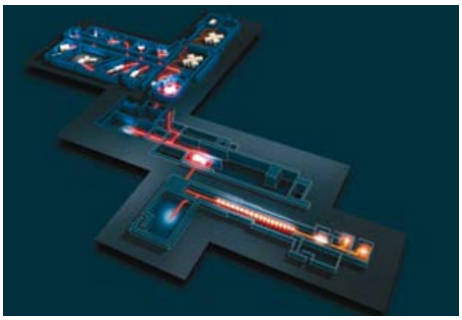
SKA (global) – *Square Kilometre Array*



Operativo dal 2016, 1500 mln € di avvio, 100-150 mln€/aa. Sito web: www.skatelescope.org/

Lo SKA rappresenta la prossima generazione di radiotelescopi. Con un *range* di frequenza tra 70 MHz e 25 GHz ed un'area di raccolta dei segnali di ben *un milione* di metri quadri (appunto, un *chilometro quadro*), lo SKA disporrà di una sensibilità *cinquanta* volte superiore alle installazioni esistenti. Grazie al suo enorme campo di vista sarà capace di scandagliare il cielo più di *diecimila* volte più velocemente di qualunque altro radiotelescopio. In sintesi: lo SKA modificherà profondamente la nostra comprensione dell'universo.

SPIRAL2



Operativo dal 2014, 196 mln € di avvio, 6,6 mln€/aa.
Sito web: pro.ganil-spiral2.eu/spiral2

SPIRAL2 è il nome di una nuova installazione in costruzione al Laboratorio GANIL sito a Caen, in Francia. Il progetto ha come obiettivo la generazione di fasci composti da stabili e rari isotopi di intensità non ancora accessibili alle macchine della generazione corrente. SPIRAL2 andrà a consolidare la *leadership* europea nel campo della fisica nucleare dei *nuclei esotici*.

3.2.4 *e-Infrastructures*[11]

Le *e-Infrastructures* sono un elemento critico per tutti i progetti nella *roadmap* ESFRI. L'adozione sempre più ampia delle *e-Infrastructures* sta velocemente mutando il modo stesso in cui lavorano i ricercatori – l'accesso remoto a servizi di calcolo, nuove strumentazioni ed organizzazioni virtuali distribuite aprono nuove opportunità ai ricercatori che possono portare le proprie applicazioni ad elevatissimi livelli di usabilità e prestazioni. In aggiunta, esse consentono ai ricercatori nuove angolazioni di analisi e sperimentazione scientifica, grazie a strumenti di simulazione e ad applicazioni *computing intensive*. In particolare, saranno proprio i giovani ricercatori a trarre il massimo vantaggio dalla crescita di sempre più ampi *ambienti di ricerca virtuale*.
Le nuove modalità di interconnessione rese possibili dalle tecnologie ICT stanno ora portando l'umanità ad un *cambiamento epocale*. Sta mutando la natura stessa del lavoro. Ricordiamo in questo contesto l'affermazione di Manuel Castells[12], "*Networks are the fundamental stuff of which new organizations are and will be made*", secondo cui le reti stanno divenendo la stessa struttura portante delle nuove organizzazioni.
Di fatto, ed in particolare in ambito europeo, emerge con sempre maggiore forza il paradigma della cosiddetta *quinta libertà*, che si aggiunge alla libera circolazione di persone, beni, capitali e servizi – secondo la quale nell'area di ricerca europea i ricercatori, la conoscenza scientifica e la tecnologia possono circolare liberamente. Le *e-Infrastructures* sono un vero e proprio abilitatore della quinta libertà in quanto grazie ad esse è possibile interconnettere le migliori menti continentali e federare le migliori risorse scientifiche al fine di costruire comunità scientifiche e globali.

[11] Per un approfondimento estensivo sul contesto delle infrastrutture ICT, si consiglia di riferirsi ai *deliverabili* del progetto *Towards an Open and Sustainable ICT Research Infrastructure Strategy* (OSIRIS), www.osiris-online.eu, in particolare, di A. Candiello e M. Mazzucato, il D3.1 "Inventory of existing PA-RIs cooperation".
[12] Cfr. Manuel Castells, *The Rise of the Network Society, The Information Age*: Economy, Society and Culture Vol. I. Cambridge, MA; Oxford, UK: Blackwell (1996, second edition, 2000).

The '**fifth freedom**'; complementing the free movement of **People**, **Goods**, **Capital** and **Services** is the **European research area** in which **researchers**, **scientific knowledge** and **technology** circulate freely

Figura 16 – La "quinta libertà". Citazione da: Enric Mitjana, 5th EGEE User Forum, Uppsala, 12/4/2010.

EGI – *European Grid Infrastructure*

Operativo dal 2009, segue dieci anni di progetti che risalgono a DataTAG per continuare con la serie EGEE I, II, III ed ora EGI. Sito web: www.egi.eu

EGI è la più ampia infrastruttura di *grid computing* "di produzione" ovvero utilizzata quotidianamente per il calcolo, una struttura federata di risorse eterogenee finalizzata al calcolo scientifico. Questa è coordinata da centinaia di istituzioni di ricerca e fa leva su centinaia di siti in cinquanta paesi che operano circa *centomila cpu*. Il sistema serve *diecimila utenti* 24 ore al giorno, 7 giorni alla settimana, ed ha le sue caratteristiche allo scopo di elaborare con efficacia le decine di *petabytes* generate annualmente da LHC.

PRACE (ex EU-HPC)

Operativo dal 2009-2010, 200-400 mln € di avvio, 50-100 mln€/aa. Sito web: www.prace-project.eu

La *Partnership for Advanced Computing in Europe* (PRACE) rappresenta un intervento strategico europeo per il calcolo ad alte prestazioni – *High Performance Computing* (HPC). PRACE concentra le risorse disponibili in un numero ristretto di centri di calcolo "top" in una infrastruttura integrate interconnessa anche con centri di calcolo nazionali, regionali e locali, a costituire un circuito di calcolo scientifico in grado di utilizzare con la massima efficienza ed efficacia le macchina più performanti nella classe dei *petaflop*[13] e tra qualche anno in quella degli *exaflop*[14]. Una tale architettura potrà rispondere alle più esigenti domande di calcolo sia in termini quantitativi (potenza) che in termini qualitativi (utilizzabilità). La presenza di architetture tecniche differenziate è in grado di soddisfare le richieste dei diversi domini scientifici e delle diverse applicazioni. Il modello è intrinsecamente piramidale, con i centri di calcolo locali a costituire la base della stessa, i centri nazionali e regionali a comporre lo strato intermedio, mentre i sistemi HPC più performanti costituiscono la cima.

[13] L'unità di calcolo FLOP significa *FLoating point OPerations per Second*, ovvero numero di calcoli in virgola mobile (i consueti calcoli con i numeri dopo la virgola) per secondo. Un *petaflop* rappresenta un milione di miliardi di operazioni di calcolo al secondo.

[14] Un *exaflop* rappresenta mille *petaflop*, ovvero un miliardo di miliardi di operazioni di calcolo al secondo.

3.2.5 Scienze Biologiche e Mediche

Salute ed alimentazione sono due importanti sfide che sono indotte dal rapido aumento della popolazione mondiale e dal contemporaneo innalzamento dell'età media. Migliorare la salute generale garantendo anche efficacia al contrasto delle epidemie emergenti e rispondere alla crescente domanda di cibo e di risorse naturali sono temi che richiedono interventi urgenti. Le infrastrutture di *Life Sciences* potranno contribuire a risolvere tali importanti questioni.

BBMRI – *Bio-banking and BioMolecular resources Research Infrastructure*

Operativo dal 2014, 170 mln € di avvio, 15 mln€/aa.
Sito web: www.bbmri.eu

BBMRI rappresenta un'infrastruttura pan-Europea distribuita per la conservazione e l'accesso ai campioni biologici (*biobanks*) e per il coordinamento e l'accesso ai centri di ricerca biomolecolari. L'infrastruttura è predisposta per materiale biologico dei pazienti e dei malati, tipicamente DNA, tessuti, cellule, sangue ed altri fluidi corporei, con collegamenti ai dati clinici e di ricerca. In essa saranno approntati anche strumenti per ricerca biomolecolare e biocomputazionale al fine di consentire al meglio la ricerca biomedica.

EATRIS – *European Advanced Translational Research InfraStructure in medicine*

Operativo dal 2013, 255 mln € di avvio, 50 mln€/aa.
Sito web: www.eatris.eu

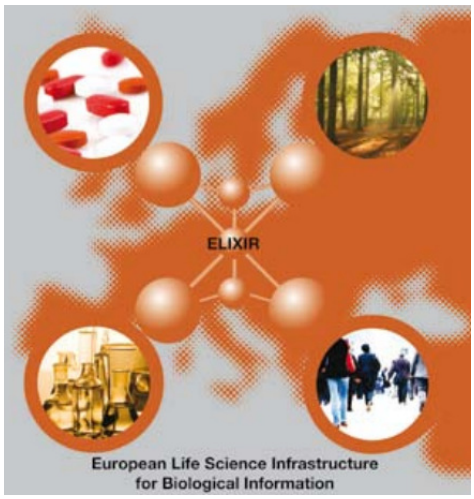
EATRIS rappresenta una infrastruttura distribuita implementata tramite diversi centri di ricerca biomedici presenti in tutta Europa, con l'obiettivo principale di portare (traslare) i risultati di ricerca nella pratica clinica. I centri biomedici di ricerca andranno ad utilizzare le più avanzate tecnologie di ricerca *traslazionale* e andranno a coprire i principali settori di lotta alle malattie: cancro, problemi metabolici, disordini neurologici, malattie cardiovascolari e malattie infettive. Il consorzio EATRIS è aperto a tutti i Paesi che vogliano contribuire ad una nuova infrastruttura di ricerca *traslazionale*.

ECRIN – *pan-European Infrastructure for Clinical Trials and Biotherapy*

Operativo dal 2014, 50 mln € di avvio, 5 mln€/aa.
Sito web: www.ecrin.org

ECRIN è stato progettato per superare l'attuale frammentazione della ricerca clinica europea attraverso l'integrazione delle reti nazionali e relative infrastrutture cliniche nazionali. ECRIN andrà a fornire servizi "a pacchetto" a ricercatori e *sponsor* negli studi multinazionali. Gli utenti stessi saranno ricercatori e *sponsor* nella ricerca accademica ed in quella applicata condotta dalle PMI.

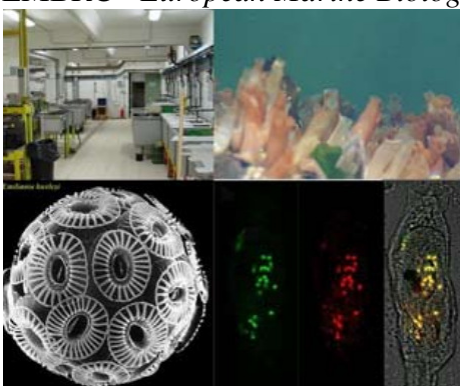
ELIXIR – *Upgrade of the European Life-science Infrastructure for Biological Information*



Operativo dal 2012, 470 mln € di avvio, 100 mln€/aa.
Sito web: www.elixir-europe.org

ELIXIR sarà una piattaforma sicura e stabile ma in rapida evoluzione per la raccolta dei dati biologici, la loro memorizzazione, validazione, la correlata disseminazione ed il loro utilizzo, in piena coerenza con le particolari esigenze della condivisione dei risultati scientifici e delle risorse nelle scienze della vita. ELIXIR comprenderà una collezione distribuita ma strettamente interconnessa di dati scientifici in ambito biologico di pubblicazioni e di documentazione di settore. Tale nucleo informativo, progettato per essere esaustivo e di utilizzo universale, includerà un sostanziale aggiornamento delle attuali risorse informative in ambito molecolare presenti nell'*European Bioinformatics Institute* (EBI), come pure nuove risorse ove appropriato. Le risorse specializzate, ciascuna al servizio di comunità scientifiche più limitate, saranno distribuite in tutta Europa.

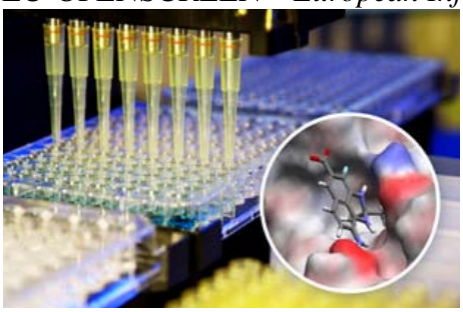
EMBRC - *European Marine Biological Resource Centre*



Operativo dal 2018, 100 mln € di avvio, 60 mln€/aa.
Sito web: www.embrc.eu

Questa infrastruttura pan-Europea fornirà accesso per la ricerca e la formazione sugli organismi marini ed alle correlate risorse genomiche. I principali laboratori marini presenti sulle coste saranno integrati in questa infrastruttura di ricerca per consentire accesso alla conoscenza degli organismi marini ed ai loro ecosistemi con tecnologie moderne e piattaforme "*omiche*".

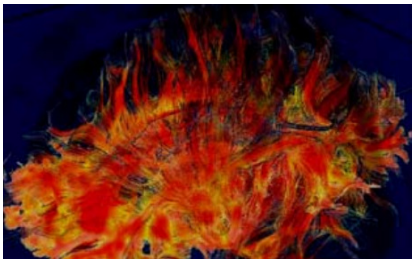
EU-OPENSCREEN – *European Infrastructure of Open Screening Platforms for chemical biology*



Operativo dal 2012, 40 mln € di avvio, 40 mln€/aa.
Sito web: www.eu-openscreen.de

EU-OPENSCREEN consentirà ai ricercatori dell'accademia e delle PMI di accedere alle risorse per lo sviluppo di piccole molecole bioattive. EU-OPENSCREEN sarà un'associazione di centri di *high throughput screening* (HTS); questi offriranno risorse chimiche per *hit discovery* e *optimization,* supporto alla bioinformatica ed alla chimica computazionale, ed accesso pubblico ai database. Questo database combina risultati delle analisi, protocolli di bioanalisi molecolare ed informazioni di chimica. Una *facility* centrale renderà disponibile un'ampia collezione di diversi composti che rappresentano la conoscenza chimica d'Europa.

EuroBioImaging – *Research Infrastructure for Imaging Technologies in Biological and Biomedical Sciences*



Operativo dal 2012, 370 mln € di avvio, 160 mln€/aa.
Sito web: www.eurobioimaging.eu

Questa infrastruttura fornirà accesso alle tecnologie di *imaging* su tutta la scala di applicazioni biologiche e mediche, dalle molecole al paziente. Sarà organizzata come una infrastruttura pan-europea distribuita focalizzata sulle tecnologie di *imaging* complementari dalla *advanced light microscopy* al *medical imaging*. L'infrastruttura di ricerca sarà principalmente di nuova costruzione e dedicherà una parte sostanziale della sua capacità agli utenti esterni.

High Security BLS4 Laboratory – *upgrade of the High Security Laboratories for the Study of Level 4 Pathogens*

Operativo dal 2018, 174 mln € di avvio, 24 mln€/aa.
Sito web: www.hbsl.eu

Questa nuova infrastruttura BSL4 aiuterà ad affrontare ogni esito pandemico di malattie infettive emergenti o ri-emergenti. Si tratta di una sfida scientifica che implica un campionamento coordinato e lo studio dei patogeni di livello 4. Questa infrastruttura sarà realizzata attraverso un sostanziale aggiornamento degli esistenti laboratori biologici di elevata sicurezza (*High Security Laboratories*, HSL), con l'aggiunta di nuovi laboratori e con la realizzazione di una infrastruttura di supporto integrata tramite un ente europeo di coordinamento.

Infrafrontier – *European Infrastructure for Phenotyping and Archiving of Model Mammalian Genomes*

Operativo dal 2010, 270 mln € di avvio, 36 mln€/aa
Sito web: www.infrafrontier.eu

INFRAFRONTIER organizzerà due complementari e interconnesse infrastrutture. 1) *"Phenomefrontier"*quale piattaforma equipaggiata con le più avanzate tecnologie articolari, in vivo, di *imaging* e con strumenti di data management, per la fenotipizzazione dei modelli medicalmente rilevanti dei ratti. 2) "*Archivefrontier*" quale risorsa aggiornatissima per l'archiviazione di tali modelli di ratti e quale sostanziale aggiornamento dell'*European Mouse Mutant Archive* (EMMA).

INSTRUCT – *An Integrated Structural Biology Infrastructure for Europe*

Operativo dal 2012, 300 mln € di avvio, 25 mln€/aa.
Sito web: www.instruct-fp7.eu

Questa nuova infrastruttura distribuita farà leva su centri *Core* e centri *Associati* per la *Biologia Strutturale Integrata*. Tutti i centri manterranno e svilupperanno ulteriormente un insieme di tecnologie primarie come produzione proteica, NMR, cristallografia e diverse forme di microscopia. Ciascun centro avrà uno specifico focus in ambito biologico che darà forma

all'evoluzione dell'infrastruttura secondo i bisogni scientifici e migliorerà la produzione e l'analisi strutturale dei complessi funzionali. La rete di centri di ricerca sarà organizzata per ottenere dati strutturali multi-scala e per tradurre questi dati in conoscenza funzionale.

3.2.6 Scienze Ambientali

Le Scienze Ambientali (o *Scienze della Terra*) operano al fine di incrementare le conoscenze necessarie per una gestione sostenibile delle risorse ambientali, approfondendo i cambiamenti climatici e ricercando opportuni strumenti di monitoraggio e di prevenzione di rischi ambientali e fattori di pressione. Si tratta di scienze per loro natura internazionali, trattando fenomeni di vastità soprannazionale. La scala europea fornisce l'opportuna massa critica per affrontare la grande complessità delle tematiche ambientali; strutture di ricerca pan-europee e libero accesso ai dati scientifici sono elementi fondamentali per conseguire i traguardi desiderati in questo campo.

AURORA BOREALIS – *European polar research icebreaker*

Operativo dal 2014, 635 mln € di avvio, 32,5 mln€/aa.
Sito web: www.eri-aurora-borealis.eu

AURORA BOREALIS sarà una nave rompighiaccio di grande potenza – *cinquantamila tonnellate di stazza*, *duecento metri di lunghezza*, *ottanta megawatt di potenza propulsiva* e capacità di penetrare con le sonde tra *cento e cinquemila metri in profondità* in condizioni estreme. La nave potrà supportare massivi interventi di ricerca negli oceani polari per indagare sul cambio climatico ed il suo impatto.

COPAL (ex EUFAR) – *COmmunity heavy-PAyload Long endurance Instrumented Aircraft*

Operativo dal 2012, 50 mln € di avvio, 3 mln€/aa + 6000€/ora. Sito web: www.eufar.net/copal

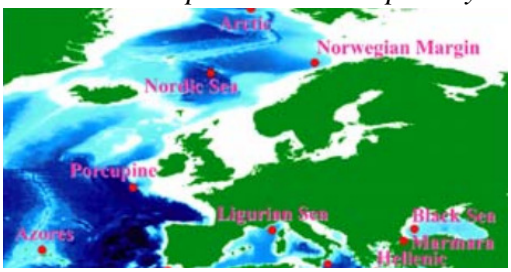
COPAL è un jet troposferico a lunga distanza con elevate capacità di carico progettato per completare la ricerca in ambito atmosferico ed ambientale. Con il *jet* HALO gestito da DLR (DE) per ricerca nella troposfera più alta e più bassa, l'aeroplano *turboprop* COPAL, specificamente progettato invece per la troposfera bassa e media, sarà l'unico aero europeo in grado di operare in ogni area del mondo.

EISCAT_3D Upgrade – *European Incoherent SCATter*

Operativo dal 2015, 60-250 mln € di avvio, 4-10 mln€/aa.
Sito web: www.eiscat.se

EISCAT_3D è un aggiornamento dell'esistente installazione denominata *European Incoherent SCATter* (EISCAT), nella quale sono ospitate le più avanzate antenne radar per ricerca climatica ionosferica e spaziale, con le quali sono investigati i processi che hanno luogo nell'atmosfera terrestre. Tali studi possono aiutarci a comprendere la formazione e l'evoluzione del nostro, e di altri, sistemi solari.

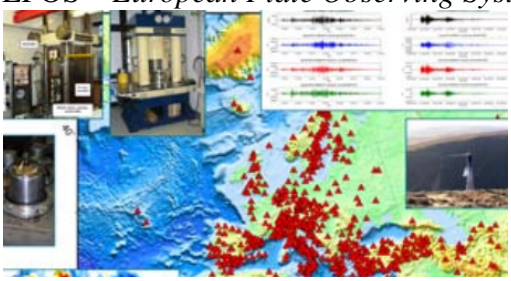
EMSO – *European Multidisciplinary Seafloor Observatory*



Operativo dal 2013, 160 mln € di avvio, 32 mln€/aa.
Sito web: http://www.emso-eu.org

EMSO è un circuito su scala europea di osservatori a livello del mare, a costituire una infrastruttura ampiamente distribuita per monitoraggio a lungo termine dei processi ambientali correlati alla vita ed all'evoluzione degli ecosistemi ai cambiamenti globali ed ai rischi planetari. EMSO sarà realizzata su siti specifici attorno le acque europee dall'Artico al Mar Nero passando per il Mar Mediterraneo. Sarà una componente chiave del *Global Monitoring for Environment and Security* (l'iniziativa europea GMES, cfr. www.gmes.info) e di *Global Earth Observation System of Systems* (l'iniziativa americana GEOSS, cfr. www.epa.gov/geoss).

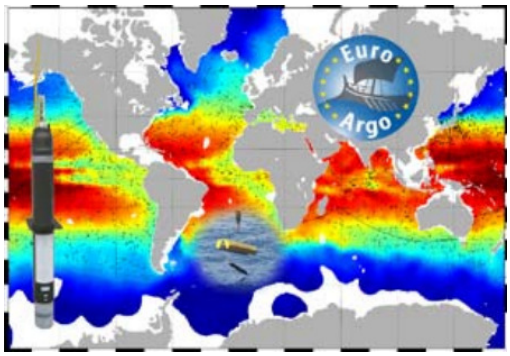
EPOS – *European Plate Observing System*



Operativo dal 2018, 500 mln € di avvio, 80 mln€/aa.
Sito web: www.epos-eu.org

L'infrastruttura distribuita EPOS andrà ad integrare le attuali, poco interconnesse ma molto avanzate, installazioni europee di osservazione ed analisi. Queste verranno coerentemente integrate in una infrastruttura di ricerca multidisciplinare in grado di abilitare e promuovere approcci innovativi per una migliore comprensione dei processi fisici che controllano i terremoti, le eruzioni vulcaniche e gli tsunami, come pure i processi che guidano la tettonica e la dinamica superficiale terrestre. EPOS sarà interconnesso a similari iniziative di osservazione della terra e dei sistemi oceanici entro GEOSS e GMES.

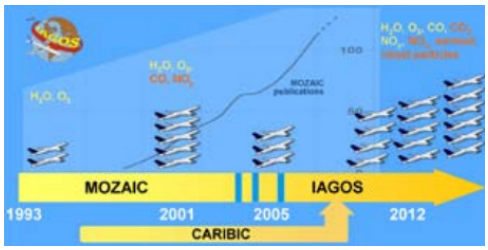
EURO-ARGO (GLOBAL) – *Global Ocean Observing Infrastructure*



Operativo dal 2011, 80 mln € di avvio, 7,3 mln€/aa.
Sito web: www.euro-argo.eu

Il sistema di Euro-Argo è la componente europea di un sistema globale oceanico di osservazione globale, basato sul galleggianti autonomi. L'obiettivo di Argo è quello di distribuire un set globale di galleggianti (distanziati ciascuno di trecento chilometri in media) in tutte le aree libere dai ghiacci del profondo oceano. Si stima che siano necessari circa tremila galleggianti per raggiungere questo obiettivo. I galleggianti sono alimentati a batteria, con una durata compresa tra tre e cinque anni, pertanto circa ottocento galleggianti dovranno essere sostituiti ogni anno per mantenere operativo il sistema. I dati vengono trasmessi in tempo reale via satellite ai centri dati per l'elaborazione, la gestione e la distribuzione. L'obiettivo di Euro-Argo è quello di fornire un contributo costante europeo al programma internazionale Argo.

IAGOS – *Climate change observation from commercial aircraft*



Operativo dal 2012, 15 mln € di avvio, 0,5-1 mln€/aa.
Sito web: www.iagos.org

IAGOS attiverà e metterà in esercizio una infrastruttura distribuita per le osservazioni sistematiche della composizione atmosferica a larga scala da aeroplani di servizio. Si otterrà ciò grazie all'installazione ed alla gestione di strumenti autonomi, certificati per aeroplani commerciali, basandosi inizialmente su 10-20 jet di lungo raggio (Airbus).

ICOS – *Integrated Carbon Observation System*

Operativo dal 2012, 128 mln € di avvio, 14 mln€/aa.
Sito web: www.icos-infrastructure.eu

ICOS è una infrastruttura per il coordinamento, l'integrazione e la gestione di dati osservazionali di elevata qualità relativi al bilancio dell'effetto serra in Europa e nelle regioni adiacenti della Siberia e dell'Africa. Basata su di un centro di coordinamento per la calibrazione e gestione dei dati in congiunzione con le reti di osservazione atmosferica ed ambientale, ICOS è progettata per creare il *backbone* scientifico per una migliore comprensione e quantificazione delle sorgenti di gas serra e dei sistemi di cattura ed il loro impatto sul cambiamento climatico.

LIFEWATCH – *Infrastructure for research on the protection, management and sustainable use of biodiversity*

Operativo dal 2019, 370 mln € di avvio, 71 mln€/aa.
Sito web: www.lifewatch.eu

LifeWatch sarà una avanzatissima e-*Infrastructure* in grado di supportare la ricerca sulla protezione, la gestione e la gestione sostenibile della biodiversità. L'infrastruttura fornirà servizi specializzati per gli studiosi ed i *policy users* della ricerca per la biodiversità, includendo la formazione e creando opportunità per i giovani ricercatori. Le componenti principali sono una rete di osservatori e le collezioni biologiche per la generazione ed il processamento dei dati, insieme con specifiche installazioni per l'integrazione dei dati accessibili con laboratori virtuali che offrono un ampio ventaglio di strumenti di analisi e modellazione. L'infrastruttura ha il supporto di tutte le principali reti di ricerca sulla biodiversità.

SIAEOS – *upgrade of the Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System*

Operativo dal 2012, 50 mln € di avvio, 9,5 mln€/aa.
Sito web: www.unis.no/20_RESEARCH/2080_SIAEOS

SIAEOS è un aggiornamento dell'attuale infrastruttura e delle attività di ricerca svolte a Svalbard al fine di attivare un *Integrated Arctic Earth Observing System*. SIAEOS integra gli studi dei processi geofisici, chimici e biologici emergenti dalla ricerca e dalle piattaforme di monitoraggio ambientale

(su suolo, mare, ghiaccio, atmosfera/spazio) rispondendo ad un bisogno importante di monitoraggio del cambio climatico. L'infrastruttura di ricerca è principalmente europea, con la presenza di un gran numero di istituti di ricerca ed un'ampia e interdisciplinare comunità di utenti da tutto il mondo. SIAEOS offre delle uniche opportunità per l'educazione la formazione dei giovani ricercatori, poiché il centro operazionale sarà integrato con il Centro Universitario Internazionale di Svalbard UNIS.

3.2.7 Scienze Sociali ed Umane

Le scienze sociali e umane contribuiscono attivamente e sono strumenti necessari per la comprensione profonda della cultura, vita sociale, politica ed economica in Europa. Queste discipline possono favorire il rafforzamento dell'occupazione, la modernizzazione dei servizi sociali e di istruzione e garantire le riforme economiche e coesione sociale nel contesto di un'economia basata sulla conoscenza.

CESSDA - *Council of European Social Science Data Archives*

Facility to provide and facilitate access of researchers to high quality data for social sciences
Operativo dal 2013, 30 mln € di avvio, 3 mln€/aa.
Sito web: www.cessda.org

CESSDA è una infrastruttura di ricerca distribuita progettata per fornire e facilitare l'accesso a dati di elevata qualità da parte dei ricercatori e garantire un supporto nell'uso degli stessi. Tramite CESSDA viene promossa l'acquisizione, l'archiviazione e la distribuzione dei dati elettronici, e viene incoraggiato l'interscambio dei dati. L'infrastruttura include venti archivi scientifici digitali presenti in venti Paesi europei. Collettivamente essi servono oltre trentamila ricercatori, garantendo l'accesso ad oltre cinquantamila raccolte di dati all'anno.

CLARIN - *Common Language Resources and Technology Infrastructure*

Research infrastructure to make language resources and technology available and useful to scholars of all disciplines
Operativo dal 2014, 104 mln € di avvio, 7,6 mln€/aa.
Sito web: www.clarin.eu

CLARIN è un grande sforzo paneuropeo coordinato infrastrutturale per rendere le risorse linguistiche e tecnologie disponibili e utili per gli studiosi di tutte le discipline, in particolare le scienze umane e sociali. CLARIN consentirà di superare l'attuale situazione frammentata, armonizzando le differenze strutturali e terminologica, facendo leva su di un'infrastruttura di tipo *Grid* ed utilizzando tecnologia di *Semantic Web*.

DARIAH - *Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities*

Digital infrastructure to study source materials in cultural heritage institutions
Operativo dal 2013, 12 mln € di avvio, 4 mln€/aa.
Sito web: www.dariah.eu

L'infrastruttura DARIAH è stata progettata per fornire l'accesso a lungo termine e garantire la conservazione dei dati di ricerca e dei materiali digitali per le arti e le scienze umanistiche in

Europa. DARIAH potrà collegare gli utilizzatori dell'informazione (i ricercatori), i gestori dell'informazione ed i fornitori di informazione. DARIAH fornirà ad essi un contesto tecnico in grado di abilitare forme avanzate di scambio di dati tra le comunità di ricerca.

ESS – *European Social Survey*

Upgrade of the European Social Survey, set up in 2001 to monitor longterm changes in social values
Operativo dal 2008, 54 mln € di avvio, 9 mln€/aa.
Sito web: www.europeansocialsurvey.org

L'Indagine Sociale Europea (ESS, *European Social Survey*) è uno strumento pan-europeo di lungo termine accademicamente guidato destinato a tracciare e spiegare l'interazione tra le Istituzioni Europee in cambiamento e gli atteggiamenti, le credenze ed i modelli di comportamento della popolazione. L'infrastruttura originale è stata istituita nel 2001 come un'indagine periodica per il monitoraggio dei cambiamenti nei valori sociali in tutta Europa e per la produzione di dati relativi al dibattito accademico, alle analisi politiche ed a una migliore governance, e come una risorsa importante per la formazione di nuovi ricercatori nei metodi comparativi.

SHARE – *Upgrade of the Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe*

Data infrastructure for empiric economic and social science analysis of ongoing changes due to population ageing
Operativo dal 2008, 11,6 mln € di avvio, 0,3 mln€/aa.
Sito web: www.share-project.org

SHARE è l'aggiornamento di una preesistente infrastruttura multidisciplinare e transnazionale per la raccolta e strutturazione di micro dati sulla salute, lo status socio-economico e le reti sociali e familiari di oltre 30.000 individui dai 50 anni in su. SHARE è coordinata centralmente presso il *Mannheim Research Institute for the Economics of Ageing* ed è accessibile gratuitamente. È armonizzata con lo *U.S. Health and Retirement Study* (HRS) e con l'*English Longitudinal Study of Ageing* (ELSA).

3.3 Quali opportunità per le imprese più innovative

Questa lunga carrellata di nuovi progetti infrastrutturali non deve intimidire. Semmai potrà inorgoglirci, essendo uno sforzo congiunto a livello europeo che mostra quali siano le capacità dei Paesi quando ci si possa muovere in forma aggregata su orizzonti temporali di *medio e lungo termine* – si noti, *non* di breve termine abituati come siamo, troppe volte nel nostro Paese, da una politica miope e priva di visione. Come in ogni grande progetto, e come già è avvenuto con LHC (ed anche in altri contesti, vedasi EMBL), si prospettano straordinarie ricadute economiche e tecnologiche nei confronti delle imprese che sappiano o desiderino contribuire fattivamente in forma diretta o indiretta a questi grandi processi di innovazione. Grandi, medie e piccole imprese hanno tutte delle opportunità che possono essere colte, a patto di saper attivare i giusti collegamenti con Università ed Istituzioni di Ricerca, ed operando sistematicamente per maturare le necessarie collaborazioni internazionali.

Referenze

Albert-László Barabási and Réka Albert, "Emergence of scaling in random networks", Science, 286:509-512, October 15, 1999

A. Candiello, "Nuovi modelli dell'ICT – Web 2.0 e oltre. Web 2.0, web semantico, grid computing, virtualizzazione … un'opportunità per le imprese strutturate", Qualità, Settembre 2008;

A. Candiello ed Alberto Bobbo, "Le tecnologie ICT: strumento e complemento dei sistemi di gestione aziendali", Qualità, marzo/aprile 2008;

A. Candiello, "Grid Computing – L'informatica come public utility del calcolo: oltre il web, verso un moderno modello economico di servizio", Sistemi e Impresa N.4, Maggio 2004;

A. Candiello, "Il grid computing parla italiano", Firstdraft, www.firstdraft.it, marzo 2008;

A. Candiello, D. Cresti, T. Ferrari, F. Karagiannis, D. Kranzlmueller, P. Louridas , M. Mazzucato, L. Matyska, L. Perini, K. Schauerhammer, K. Ullmann, M. Wilson, "A business model for the establishment of the, European Grid Infrastructure", in the Proc. of the 17th Int. Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP 2009), Mar , Prague, CZ, (to appear on Int. Journal of Physics, Conference Series, JSCS);

A. Candiello, "Il grid computing parla italiano", sul blog "Firstdraft", www.firstdraft.it, marzo 2008;

A. Candiello, "Il Caos", A. C., presentazione scientifica (pagg.21-40), in Azzariti, F. (a cura di), "Il Caos: nuova regola di mercato", FrancoAngeli, Milano, 2006;

A. Candiello, "Le "tante dualità" d'intervento di scienza e tecnologia e nel sostegno ai processi d'innovazione", in Azzariti, F. (a cura di), "La tecnologia al potere", Franco Angeli, Milano, 2007;

A. Candiello, "*WBase: a C package to reduce tensor products of Lie algebra representations. Description and new developments*", pubblicato nei Proceedings of the Fourth International Workshop on Software Engineering, Artificial Intelligence and Expert Systems for High Energy and Nuclear Physics, "*New Computing Techniques in Physics Research IV*", ed. B. Denby and D. Perret-Gallix, 1995 World Scientific;

M. Mazzucato, "Grid: la roadmap dei progetti italiani ed europei", Mondo Digitale n.1, Marzo 2005;

A. Candiello, A. Albarelli, A. Cortesi, "An Ontology-based Inquiry Tool", In Proceedings of the 5th Workshop on Semantic Web Applications and Perspectives (SWAP2008), Rome, Italy, December 15-17, 2008, CEUR Workshop Proceedings;

Antonio Candiello è laureato in fisica ed ha un *PhD* in fisica teorica. Ha effettuato ricerche sulle teorie di grande unificazione della gravità e delle interazioni fondamentali in un contesto internazionale. Approdato quindi nelle imprese, per diversi anni ha rivestito ruoli organizzativi, indagando il tema delle interrelazioni tra qualità ed informatica. Una forte tensione sociale in campo ambientale, emersa nei contesti associativi e resa più strutturata da specifici approfondimenti tecnici, ha indotto un parallelo percorso professionale consulenziale sui temi ambientali. Ha pubblicato, tra gli altri: "Qualità e tecnologie Informatiche per l'innovazione nelle PMI" (Franco Angeli, 2006); insieme a N. Benatelli e G. Favarato, "Laboratorio Marghera tra Venezia ed il Nord Est." (Nuova Dimensione, 2006). Attivo presso le imprese come consulente dei processi di innovazione (in particolare: informatica, qualità ed ambiente), collabora quale docente con le maggiori Istituzioni del Nord-Est; è *Technology Transfer Officer* all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), sezione di Padova, sul *grid & cloud computing* ed attivo nei progetti europei EGI_DS ed OSIRIS (armonizzazione delle infrastrutture di ricerca ICT europee); opera con il Dipartimento di Informatica dell'Università "Ca' Foscari" di Venezia per attività di ricerca sull'*eGovernment*; collabora con Venice International University (VIU) sui temi dell'IT Governance e negli ambiti formativi connessi all'ambiente. Esperto designato della Consulta della Salute del Comune di Venezia, ha all'attivo diverse sessioni formative e divulgative e pubblicistica sul tema di Marghera. Sito web: www.anthonycandiello.it.