

IMPRESE CULTURE TERRITORI



Ferdinando Azzariti

Connessioni

La nuova forma
della competitività
delle imprese

Salone
d'Impresa 

Relazioni di Valore

FrancoAngeli

Informazioni per il lettore

Questo file PDF è una versione gratuita di sole 20 pagine ed è leggibile con



La versione completa dell'e-book (a pagamento) è leggibile con Adobe Digital Editions. Per tutte le informazioni sulle condizioni dei nostri e-book (con quali dispositivi leggerli e quali funzioni sono consentite) consulta [cliccando qui](#) le nostre F.A.Q.



Collana “Imprese Culture Territori”

La Collana “Imprese Culture Territori” intende proporre strumenti e analisi per affrontare con successo i cambiamenti che stanno avvenendo a livello globale, coinvolgendo sia le convinzioni delle persone che il mondo delle imprese. È promossa da Salone d’Impresa (www.saloneimpresa.it), il quale dal 2000 ha costituito una community coinvolgendo imprenditori, manager, operatori e studiosi per discutere e trovare soluzioni alle sfide che quotidianamente le *persone* e le *aziende* devono affrontare, dando voce al nuovo bisogno di *federalismo della conoscenza*.

È una collana *fluida*, perché sintetizza l’emergere di temi, problematiche, analisi e soluzioni che provengono dalle molteplici attività del Salone d’Impresa: cene, focus, saloni, forum, ove trovano ampio spazio qualificati contributi di consulenti aziendali, manager, imprenditori e docenti universitari, con il chiaro intento di creare un solido ponte tra la conoscenza teorica e la pratica operativa.

È una collana *concreta*, perché presenta con semplicità e rapidità strumenti con cui lavorare nel mondo che cambia in modo ipercompetitivo, imponendo la crescita continua. I libri sono destinati, grazie a interventi e testimonianze dirette, a raccontare persone e imprese in divenire.

È una collana *dinamica*, che propone pensieri, anticipando problemi che emergeranno nei prossimi anni, storicizza e diffonde le buone pratiche aziendali. Intende però egualmente essere *aperta*, variegata, fatta di esperienze e interventi che coprono le diverse sfaccettature non solo del management ma anche della cultura e dei territori, con un approccio pragmatico. Ecco perché è progettata su misura per le persone che intendono l’apprendimento della conoscenza come il vero strumento per l’armonia e l’equilibrio nel caos dei mercati. Sempre.

La collana comprende i seguenti argomenti:

1. strategie e modelli della piccola e media impresa
2. gestione della conoscenza
3. distretti & territori
4. settori aziendali
5. cambiamento delle persone
6. velocità dei mercati
7. information & communication technology
8. controllo di gestione e finanza d’impresa
9. lean organization
10. culture & arti

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio “Informatemi” per ricevere via e.mail le segnalazioni delle novità.

Ferdinando Azzariti



IMPRESE
CULTURE
TERRITORI

Connessioni

La nuova forma
della competitività
delle imprese

FrancoAngeli

Copyright © 2014 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Progetto grafico della copertina: Elena Pellegrini

*L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore.
L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni
della licenza d'uso previste e comunicate sul sito www.francoangeli.it.*

Indice

Introduzione, di *Ferdinando Azzariti* pag. 7

Parte prima **La Teoria delle Reti ovvero “Connessioni”**

1. LHC e la Big Science come modello Mega-Reti ed Infrastrutture Scientifiche Pan-Europee: le costituenti fondamentali per la società e l’economia dei prossimi anni, di *Anthony Candiello* » 13

Parte seconda **La Teoria delle Reti dentro alle Imprese**

1. La Teoria delle Reti applicata alle imprese, di *Ferdinando Azzariti* » 65
2. Teoria delle Reti e la storia di un portale dei portali. Il caso Joylife, di *Salvatore Mele* » 91
3. Connessioni e Lavagna Interattiva Multimediale, di *Paolo Dal Fabbro* » 95
4. La Teoria delle Reti: come nasce un’impresa a scuola. Connessioni attuali e future per far crescere una nuova classe dirigente, di *Lucia Oldrati* » 103

Parte terza **Imprese che lavorano in Rete**

1. Teoria delle reti e importanza delle connessioni: come cambiano i ruoli dentro l’impresa. Il caso Electrolux e dei Project Leader, di *Salvatore Milluzzo* » 113
2. L’Head Hunting come sistema di connessione, di *Stefania Piredda* » 119
3. Il Mercato in rapida evoluzione: l’attenzione al Bisogno Marginale, di *Francesco Pontelli* » 123

Introduzione

di *Ferdinando Azzariti*

“Conessioni. La nuova forma della competitività delle imprese” è stato il tema trattato all’Ottavo Salone di Impresa, che si è tenuto a Mestre (Venezia) dal 25 al 26 giugno 2010.

Ed in questa due giorni di dibattiti, di interventi, di proposte operative, di scambi con una logica di “contaminazione culturale” è emersa l’esigenza, da parte di tutti i presenti (spettatori e testimonial) di “sedimentare” quanto raccontato, descritto, vissuto e narrato dagli oltre 40 relatori in questo volume.

La collaborazione all’interno delle Organizzazioni, e tra le organizzazioni, è una questione di comunicazione, fiducia, e buon funzionamento del Gruppo di persone che fanno rete.

Un argomento che ci è caro e familiare.

Le piccole e medie imprese italiane sono spesso brillanti per creatività, determinazione, flessibilità, tipicamente mancano della dimensione necessaria per attivare iniziative di business importanti.

Mentre prendiamo atto di questa opportunità, proliferano le conferenze sulle Reti di Impresa; e fortunatamente anche il legislatore incoraggia le aggregazioni tra Imprese.

Gli Imprenditori delle piccole e medie imprese, partecipano a molti incontri, ascoltano gli esperti, ma non entrano in contatto tra loro (imprenditori).

Ascoltano che fare rete è una bella cosa, che da soli non si riesce a crescere. In effetti tutti noi siamo molto bravi a spiegare modelli di collaborazione, casi e strumenti giuridici esistenti, per esempio il contratto di rete.

Sono nozioni necessarie ed importanti. Bastano?

Cosa serve realmente perché alcuni imprenditori decidano di unire le forze e mettersi insieme?

Il primo requisito, quello che più di tutti accende la collaborazione, è la Fiducia tra gli imprenditori.

Quando si inizia ad interagire, ed anche i valori, i modi di ragionare, l'etica degli affari sono condivisi, la fiducia si costruisce, piano. E mentre è difficile costruirla, è molto facile deteriorarla. Questa è la sfida vera.

Perché si sviluppi questo tipo di relazioni non basta che incoraggiamo la collaborazione trasferendo nozioni, o cantandone le lodi.

La mia impressione è che sfugga il limite intrinseco di una indicazione a collaborare che viene “dall'alto” e solo “dall'alto”. In questo modo non nasce “contatto” e Fiducia tra chi deve effettivamente collaborare.

Il secondo requisito è il Progetto o l'Idea da sviluppare insieme: questo progetto va affinato, condiviso, identificando punti di forza e di debolezza, pivot e strade possibili, tempi, risorse.

La collaborazione motivata, emerge dall'interazione tra le persone. Così le persone sceglieranno di intraprendere iniziative, insieme, all'interno di un Processo, ben disegnato, che le mette in condizione di conoscersi, sviluppare fiducia, e andare verso la concretezza con le giuste premesse a posto.

Il libro parlerà di “Connessioni” ma soprattutto intende introdurre modi nuovi di affrontare il problema, e passare dalla teoria delle conferenze alla pratica di incontri facilitati tra gruppi di imprenditori che entrano in contatto, si incontrano, sviluppano fiducia e decidono di agire insieme.

Non c'è campo, aspetto della vita contemporanea che non sia invaso dalle connessioni e che, come un fiume in piena, dilagano nel discorso pubblico, nei mass media, travolgendo ogni forma di riservatezza e discrezione, spezzando ogni barriera fra pubblico e privato. Individuare le proprie connessioni sembra essere l'unico modo per poter crescere in un mercato globale sia verso se stessi che agli altri.

Siamo immersi, dunque, nell'era delle connessioni in un mercato di profondo cambiamento della conoscenza...

Come si struttura il libro

Il libro risulta diviso in tre parti:

- nella prima parte *“La Teoria delle Reti, ovvero Connessioni”* si affronta il tema di come la scienza abbia affrontato tutte le direzioni di studio grazie al contributo di uno studioso (Candiello);
- nella seconda parte *“La Teoria delle Reti dentro le imprese”* si analizzano le diverse situazioni delle organizzazioni. Applicando la teoria a numerose pratiche professionali. I contributi qualificati sono di Azzariti, Mele, Dal Fabbro, Oldrati;
- nella terza parte *“Imprese che lavorano in Rete”* si sentirà dalla voce di alcuni esperti di settori diversi (Milluzzo, Piredda, Pontelli) come le connessioni siano ormai oggetto quotidiano – anche se spesso inconsapevole.

Metodologicamente, il lavoro presenta tre dimensioni:

- la prima è rappresentata da alcuni saggi “morfologici” intesi a fornire una visione approfondita dei caratteri salienti del Capitalismo delle Reti (contributi di Candiello e di Azzariti);
- la seconda è rappresentata da un saggio “strategico” che mette a fuoco i principali orientamenti della Moda per quanto riguarda le modalità di interconnessione, la conoscenza, le aziende e il lavoro (contributi di Pontelli);
- la terza è invece una serie di saggi come “casi aziendali ed interviste” che mirano a descrivere realtà innovative (contributi di Milluzzo, Mele, Dal Fabbro, Oldrati, Piredda).

Ringraziamenti

Desidero manifestare la mia riconoscenza a tutti coloro i quali, a titolo diverso, hanno facilitato la realizzazione di questo lavoro con suggerimenti e spunti di riflessione.

Sono debitore di stimoli e di consigli al Comitato Istituzionale, al Comitato d’Onore ed al Comitato Scientifico dell’VIII Salone di Impresa; però un caloroso ringraziamento è dovuto agli amici Maurizio Bortali, Italo Candoni, Giovanni De Luca, Maurizio Decastri, Antonella Grana, Diego Lorenzon, Gianpiero Menegazzo, Giuseppe Milan, Luciano Moro, Arduino Paniccia, Mario Roson, Francesco Varanini, Alessandro Vardanega.

Un ringraziamento a tutte le persone che hanno contribuito alla redazione di questo libro e che hanno avuto la volontà di raccontare studi, esperienze e prospettive diverse le une dalle altre, definendo un percorso preciso di un tema (Connessioni) pervaso da incontri affascinanti poiché trasversali.

Ci sono moltissime persone che hanno discusso con me idee e analisi, spunti e riflessioni, dando un contributo importante alla creazione finale di questo volume, in particolare voglio ringraziare tutto lo staff di Salone d’Impresa per il sostegno fornito durante tutto il lungo lavoro: in particolare Cristina Coaro e Roberto Terzi.

Ad essi aggiungerei anche gli stimoli degli amici Giorgio Boatto, Leonello D’Este, Catia Fusaroli, Anna Maria Gilardi, Giuseppe Mattiazzo, Gianfranco Mazzone.

Infine voglio dedicare questo libro alle mie figlie, Malia e Sofia perché affrontino le Reti cogliendo la complessità senza perdersi d’animo!

Parte prima
La Teoria delle Reti ovvero “Conessioni”

1. LHC e la Big Science come modello

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

di Antonio Candiello¹

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 suggerire alcuni contesti di approfondimento in vista del 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 pò 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. Fisico, consulente per le imprese e ricercatore nell'*Information Technology* (cfr. profilo esteso alla fine dell'articolo).

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:

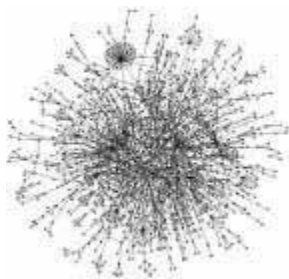
- i *nodi*, detti anche *vertici* (*nodes*, *vertices* nella terminologia inglese) nella teoria dei grafi,
- le *connessioni* (*edges*, *links* nella terminologia inglese) tra i nodi, che possono essere orientate o non orientate.

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 al mondo reale delle considerazioni teoriche. 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:

- 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 minimo 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.

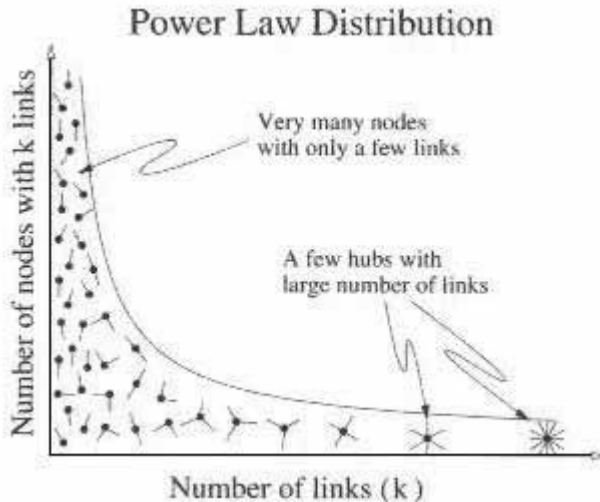
1.1. Reti Scale-Free



Nel 1999 il fisico Albert-László Barabási, studiando le caratteristiche delle interconnessioni tra le pagine web con l’aiuto di 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 la distribuzione del grado di connettività k (il numero di connessioni per nodo) segue una legge di distribuzione di potenza, ovvero in ter-

mini 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 progettaron 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 Stanley 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.



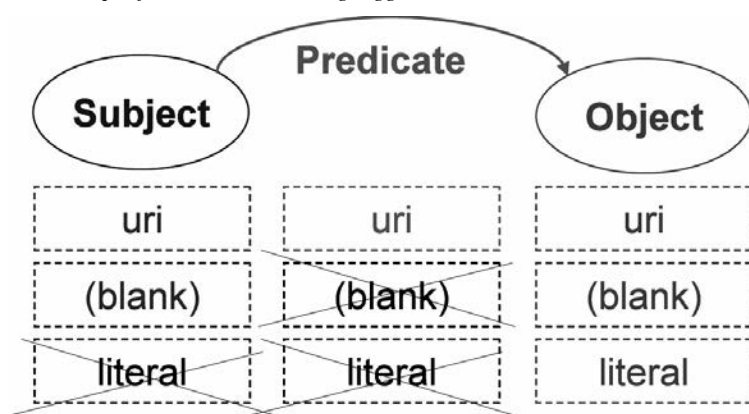
Le reti *random*, dove la legge di distribuzione dei nodi è descritta dalla legge di Poisson, sono in qualche modo l’*opposto* delle reti scale-free, nel senso che sono assolutamente inefficaci in termini di vicinanza dei nodi (i “salti” tra nodi necessari per connettersi sono in numero elevato) e quindi 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* Sviluppato dall'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.

Conclusioni

Come nota Manuel Castells, in "The Rise of the Network Society" (2000), *networks are the fundamental stuff of which new organizations are and will be made*, ovvero, le organizzazioni di fatto sono definite 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, che rende evidenti le similarità chimiche di alcuni gruppi (posti in colonna) e riporta le principali proprietà fisiche degli atomi.

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 del 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.

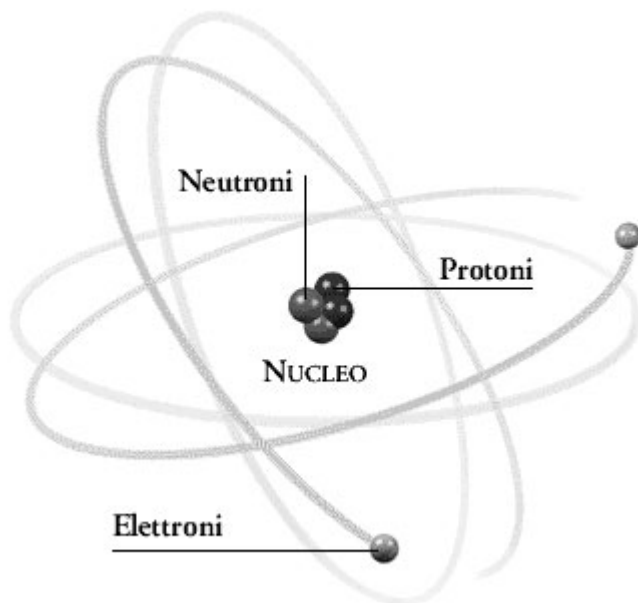
Figura 3 – La Tavola Periodica degli elementi. Immagine da: articoliamao.net

METALLI																		NON METALLI					GAS NOBILI VIII A																								
I A	II A										III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A	II																														
1 H 1.00794											5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.9994	9 F 18.998403	10 Ne 20.1797																															
2 Li 6.941	4 Be 9.01218	METALLI DI TRANSIZIONE										13 Al 26.9815384	14 Si 28.0855	15 P 30.9737619	16 S 32.06	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948																														
3 Na 22.98976928	4 Mg 24.304	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B			IB	II B	31 Ga 69.723	32 Ge 72.630	33 As 74.921595	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80																														
4 K 39.0983	20 Ca 40.078	21 Sc 44.9559122	22 Ti 47.88	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.938044	26 Fe 55.845	27 Co 58.933194	28 Ni 58.71	29 Cu 63.546	30 Zn 65.38	31 Ga 69.723	32 Ge 72.630	33 As 74.921595	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80																														
5 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.905848	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.94	43 Tc 98.906250	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90550	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.757	52 Te 127.603	53 I 126.90547	54 Xe 131.29																														
6 Cs 132.90545196	56 Ba 137.327	57 La 138.904868	72 Hf 178.49	73 Ta 180.94788	74 W 183.85	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.222	78 Pt 195.084	79 Au 196.966569	80 Hg 200.59	81 Tl 204.377	82 Pb 207.2	83 Bi 208.980383	84 Po 209	85 At 210	86 Rn 222																														
7 Fr 223	88 Ra 226	89 Ac 227.027723	104 Unq 261	105 Unp 262	106 Unh 263	107 Uns 264	108 Uno 265	109 Uue 266	110 Uun 267	111 Uuu 268																																					
<table border="0"> <tr> <td>serie dei lantanidi</td> <td>58 Ce 140.12</td> <td>59 Pr 140.90768</td> <td>60 Nd 144.24</td> <td>61 Pm 144.912878</td> <td>62 Sm 150.4</td> <td>63 Eu 151.964</td> <td>64 Gd 157.25</td> <td>65 Tb 158.925349</td> <td>66 Dy 162.50</td> <td>67 Ho 164.930329</td> <td>68 Er 167.259</td> <td>69 Tm 168.930029</td> <td>70 Yb 173.045</td> <td>71 Lu 174.967</td> </tr> <tr> <td>serie degli attinidi</td> <td>90 Th 232.0377</td> <td>91 Pa 231.036889</td> <td>92 U 238.02891</td> <td>93 Np 241</td> <td>94 Pu 244</td> <td>95 Am 243</td> <td>96 Cm 247</td> <td>97 Bk 247</td> <td>98 Cf 251</td> <td>99 Es 252</td> <td>100 Fm 257</td> <td>101 Md 258</td> <td>102 No 259</td> <td>103 Lr 260</td> </tr> </table>																		serie dei lantanidi	58 Ce 140.12	59 Pr 140.90768	60 Nd 144.24	61 Pm 144.912878	62 Sm 150.4	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.925349	66 Dy 162.50	67 Ho 164.930329	68 Er 167.259	69 Tm 168.930029	70 Yb 173.045	71 Lu 174.967	serie degli attinidi	90 Th 232.0377	91 Pa 231.036889	92 U 238.02891	93 Np 241	94 Pu 244	95 Am 243	96 Cm 247	97 Bk 247	98 Cf 251	99 Es 252	100 Fm 257	101 Md 258	102 No 259	103 Lr 260
serie dei lantanidi	58 Ce 140.12	59 Pr 140.90768	60 Nd 144.24	61 Pm 144.912878	62 Sm 150.4	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.925349	66 Dy 162.50	67 Ho 164.930329	68 Er 167.259	69 Tm 168.930029	70 Yb 173.045	71 Lu 174.967																																	
serie degli attinidi	90 Th 232.0377	91 Pa 231.036889	92 U 238.02891	93 Np 241	94 Pu 244	95 Am 243	96 Cm 247	97 Bk 247	98 Cf 251	99 Es 252	100 Fm 257	101 Md 258	102 No 259	103 Lr 260																																	
47 Ag 107.8682	numero atomico										metalli	caratteristiche intermedie	non metalli																																		

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.

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

Figura 4 – Raffigurazione “pittorica” dell’atomo – in questo caso un atomo di elio (le proporzioni non sono rispettate). Immagine da: articoliama.net



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 quindici 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 ventimila 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 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

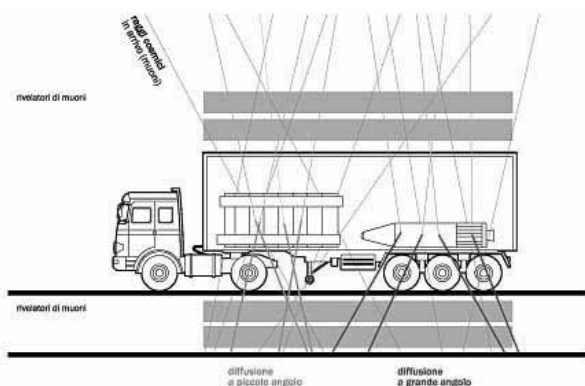
In effetti già a fine ottocento con gli esperimenti di Antoine Henri Becquerel e dei coniugi Pierre e Marie Curie si sapeva che il tradizionale quadro della materia “immutabile” – in particolare stabile! – non reggeva più. La radioattività, presente in alcuni elementi naturali, rappresenta l’effetto di una forma di energia diversa da quella elettromagnetica; essa fu indagata da Ernst Rutherford, che ne identificò le componenti di raggi β (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 apparso 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 penetrare 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 muonica² 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).

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.

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

2. Cfr. <http://muradio.pd.infn.it>.