

## LE CONSEGUENZE DELLE BASI SCIENTIFICHE DELLA SECONDA LEGGE DI MOORE

Mentre stavo per proseguire la stesura del libro sulle vere origini della vita, dopo che un estenuante dibattito durato alcuni anni mi aveva convinto della fondatezza delle motivazioni per cui la complessità insita negli organismi viventi contrasta ineludibilmente con il II principio della termodinamica, un collega attento a queste problematiche e in connessione con le mie attività professionali nel campo dei sistemi complessi, in particolare la tecnologia micro e nanoelettronica, mi suggeriva di esaminare con una certa attenzione e a tal proposito, la seconda legge di Moore.

Ecco di cosa si tratta.

Gordon Moore, tra i fondatori della maggiore compagnia per la fabbricazione di microchip al mondo (INTEL), fin dai primi sviluppi della tecnologia microelettronica, formulò una regola predittiva riguardante l'evoluzione dei semiconduttori, che prese il nome di "Prima legge di Moore" e, dall'anno della sua formulazione, ha pressoché mantenuto la sua validità fino ad ora. Essa recita più o meno così: la densità di componenti integrati in un microchip è destinata a raddoppiare ogni 2 anni.

Successivamente, e per giustificare un'osservazione di un suo collega che si occupava di investimenti, Moore espresse una seconda considerazione, legata in qualche misura alla prima legge, sulla natura e investimenti che sarebbero stati necessari nel tempo per la fabbricazione delle complesse strutture costruite con la tecnologia microelettronica. Si tratta di questo: « L'investimento per realizzare una nuova tecnologia di microprocessori cresce in maniera esponenziale con il tempo. », formulazione che ricalca le osservazioni del suo collega Rock che aveva appunto osservato nei suoi consuntivi che: « Il costo delle apparecchiature per fabbricare semiconduttori raddoppia ogni quattro anni ».

Naturalmente, sia Moore che Rock non diedero a queste loro considerazioni basate sull'osservazione, particolari spiegazioni di carattere analitico.

Dal punto di vista industriale ed economico, è comprensibile facilmente che simili osservazioni basate su riscontri oggettivi, abbiano nella pratica conseguenze piuttosto importanti.

Infatti, al momento attuale, tenendo conto che l'investimento in questo settore dell'alta tecnologia dipende in larga misura dal tipo di prodotto in sviluppo e dalle economie di scala che si intendono perseguire, si stima che 2-5 miliardi di dollari siano il costo necessario per una fabbrica di semiconduttori allo stato dell'arte. Ogni nuova linea pilota richiede, quindi, investimenti (e coinvolge ricercatori) paragonabili a quelli degli acceleratori di particelle o dell'esplorazione spaziale. Anche se l'industria microelettronica spende tradizionalmente circa il 20% del proprio fatturato in nuove fabbriche e il 12-15% in ricerca e sviluppo, la crescita degli investimenti richiesti per una nuova linea pilota tende a rappresentare una porzione, sempre più alta, del fatturato, con alcune implicazioni economiche rilevanti:

- riduzione nel numero di società che si possono permettere linee pilota avanzate;
- fenomeni di associazione di società diverse per condurre la ricerca in comune

oltre alla crescita dei rischi connessi ad un investimento sbagliato, che colpisce, soprattutto, le società che sviluppano le attrezzature di produzione nel settore della microelettronica.

Ci sono poi altre conseguenze connesse alle osservazioni di Moore e Rock, anche se quelle già evidenziate permettono di capire che esiste almeno un limite economico all'aumento indefinito della complessità artificiale.

Oltre a quanto appena affermato, andando alle ragioni scientifiche che sono alla base di quanto rilevato da Moore, conseguenze molto più interessanti ed importanti emergono proprio dal confronto tra i sistemi artificiali complessi come quelli cui si riferisce Moore e quelli naturali: i sistemi vivi..

Mettiamo a confronto ad esempio, un sistema microelettronico delle dimensioni paragonabili ad un chicco di grano (un microchip) e il chicco di grano stesso.

Allora, quello che Moore evidenzia nella sua seconda legge si può spiegare con considerazioni di tipo termodinamico applicabili anche al chicco di grano, ma andiamo con ordine e prima di tutto confrontiamo le fabbriche di questi due sistemi complessi.



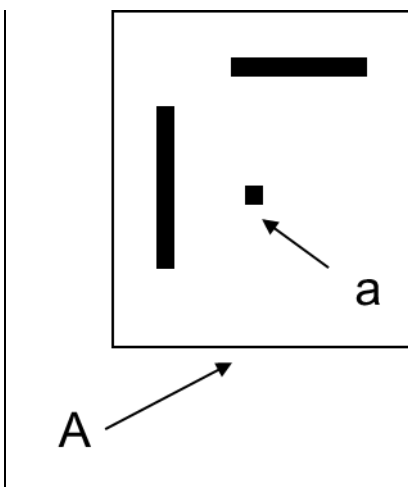
Fig. 1 A sinistra la fabbrica per i microchip e sotto un ingrandimento di un microchip e a destra la “fabbrica” dei chicchi di grano con sotto alcuni chicchi pronti per la semina.

La lavorazione per la fabbricazione di microchip necessita di una fabbrica come nella foto qui sopra a sinistra in quanto consiste essenzialmente nello strutturare sottilissimi strati sovrapposti sulla superficie di un substrato di silicio monocristallino (per via delle proprietà elettriche di questo materiale, essenziali per differenziare il comportamento degli elementi che vengono in questo modo strutturati), fissando per ogni strato le caratteristiche di porzioni adiacenti del materiale del singolo strato aventi una certa dimensione minima fissata. Tale dimensione minima determina il numero massimo delle configurazioni ottenibili per un singolo strato di materiale. Il numero di strati può essere molto alto (fino a 30 e oltre) e il processo è concepito in modo tale che la lavorazione di uno

strato sia indipendente da quella degli altri, anche se poi vengono scelte delle configurazioni per cui gli strati sono in qualche modo interdipendenti perché collegati tra di loro in modo univoco.

In sintesi la configurazione finale si presenta come quella di una memoria di cui è fissato un contenuto e ricordando che secondo Landauer la cancellazione di una configurazione di memoria a “n” bit comporta un aumento di entropia pari ad “ $n \ln(2)$ ”, risulta altresì evidente che la realizzazione di una configurazione su due stati tra “ $2^n$ ” possibili comporta una diminuzione di entropia (informazioneale) dello stesso valore (per avere l’entropia termodinamica si deve moltiplicare per l’entropia della quantità di materia che costituisce il “bit”).

Quindi, la quantità di energia associata alla variazione di entropia, ad una certa temperatura T, dipenderà evidentemente dalla tipologia e quantità di materia utilizzato per realizzare la configurazione di cui si è detto. Infatti, strutture con lo stesso numero di configurazioni possibili richiederanno un diverso dispendio di energia se ad esempio si tratta di disporre le tessere per la composizione di un mosaico, oppure dei mattoni per erigere una casa, a parità di disposizioni possibili.



*Data un’area “A” ci sono  $p=2^n$  possibilità per disporre geometrie minime di area “a”, dove “n” è il rapporto  $A/a$ . Tutte le configurazioni sono statisticamente equivalenti.*

*Qualunque configurazione venga scelta, al valore di “p” corrisponde entropia negativa  $S = k \ln(p)$ .*

L’ambiente di lavorazione e le materie prime utilizzate devono naturalmente sottostare a criteri particolari per evitare di introdurre durante la lavorazione delle configurazioni geometriche non previste dal progetto.

E infatti:

Materie prime per la costruzione di microchip in silicio: substrato di silicio monocristallino purissimo con la superficie lavorata a specchio e perfettamente planare (RMS= 2 Å); gas di lavorazione purissimi (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>.....) di grado elettronico privi di tracce di umidità; ambiente di lavorazione di classe di pulizia <1 (nessuna particella di diametro superiore a 0.3 micrometri per piede cubo per minuto); H<sub>2</sub>O demineralizzata a 18 Mohm priva di ioni disciolti TOC e gas residui disciolti; materiali e gas per le reazioni chimiche di deposizione e di attacco tutti col massimo grado di purezza e filtrati per l’assenza di particelle, ecc. ecc.

Ora ci poniamo la domanda: come mai il sistema microchip, meno complesso della cellula vegetale, necessità di un ambiente così particolare? La risposta è la seguente: l’ambiente dove viene lavorato un manufatto ordinato secondo uno schema predefinito e che quindi ne riduce l’entropia (passaggio

dalla materia disordinata a ordinata), deve avere entropia (l'ambiente di fabbricazione) più bassa del manufatto stesso; l'aumento di entropia previsto dal II principio deve essere di conseguenza assorbito da un ambiente esterno all'ambiente di lavorazione.

Osservando, allo scopo di effettuare un confronto, quanto occorre per la fabbricazione del chicco di grano (parte a destra della foto di figura 1), ci rendiamo conto di una abissale differenza: nessuna necessità di selezionare e purificare i materiali utilizzati, l'ambiente di fabbricazione coincide con l'ambiente esterno, e poi, in linea di principio, a parte l'operazione di semina, non necessitano interventi umani per attivare e controllare il processo. Ultimo, ma non meno importante, le informazioni relative al processo di fabbricazione sono preesistenti all'interno del sistema (DNA).

## CONCLUSIONI

La seconda legge di Moore è una conseguenza della complessità dei manufatti ottenibili con la tecnologia microelettronica. Tale complessità aumenta in proporzione all'incremento della densità di elementi integrabili sulla superficie del substrato di silicio, la quale è funzione del rapporto "A/a" di cui si è detto, che è legato alla diminuzione dell'entropia dell'oggetto prodotto. Queste considerazioni sulla tecnologia microelettronica sono applicabili in linea di principio a tutte le tecnologie manifatturiere adeguando opportunamente i materiali e i parametri di scala.

Al contrario, gli organismi viventi anche tra i più semplici (pur avendo complessità maggiore di paragonabili artefatti umani), sono estranei alle osservazioni di Moore e Rock poiché durante la loro formazione (crescita), non sottostanno al II principio della termodinamica, come è evidente per il fatto che l'entropia del sistema diminuisce senza che cresca quella dell'ambiente (dato che i due coincidono) e nemmeno potrebbe senza che la vita sulla Terra si arrestasse per aumento indefinito dell'entropia. La fabbrica stessa della figura 1 si trasforma e diventa come nella figura 2 qui sotto, con un bilancio energetico ovviamente positivo (come noto, il grano trattiene al suo interno parte dell'energia che ne ha permesso la crescita):



Lo stesso terreno di figura 1 si è autonomamente trasformato abbassando l'entropia del sistema-ambiente.

Le conseguenze logiche di queste osservazioni sono quindi:

1. Impossibilità per sistemi materiali inerti (nel senso di non vivi) di passare spontaneamente da disordinati a ordinati (senza che ci sia un bilancio negativo dell'energia, come nella formazione dei cristalli ad esempio);
2. Impossibilità di una intelligenza artificiale indipendente e autonoma rispetto ai sistemi viventi, in quanto gli artefatti, opera dell'ingegno umano, per diminuire la loro entropia e aumentare il proprio contenuto di informazione, hanno bisogno di un ambiente (fabbrica) ad entropia più bassa della loro, ma valendo il II principio della termodinamica, tale ambiente non può realizzarsi da solo e neanche per infiniti eventi casuali;
3. I sistemi vivi non possono essersi originati autonomamente, poiché sarebbe dovuto preesistere per la loro formazione, un ambiente ad entropia molto più bassa di quella che si osserva negli organismi viventi anche i più semplici e dotato (questo ambiente) della capacità di gestire della informazione finalizzata.
4. Risulta inutile la ricerca di forme di vita, anche le più elementari, su altri pianeti del sistema solare o altrove su corpi celesti con condizioni chimico fisiche eventualmente simili a quelle della Terra, come per la presenza di acqua e atmosfera adeguata. Infatti, avendo dimostrato in maniera rigorosa che la vita non può svilupparsi autonomamente da un ambiente abiotico, ne deriva che anche in presenza degli ingredienti giusti, senza un intervento "Creativo" la vita non può esistere.

Per un approfondimento la bibliografia essenziale è la seguente:

- Charles H. Bennet, Diavoletti, Macchine e il secondo principio. *Le Scienze – quaderni*, n. 85, pp. 8-14, 1995.
- U.Mastromatteo, P.Pasquinelli, A.Giorgetti. "Thermodynamics, Information and Complexity, in Artificial and Living Systems", *International Journal of Ecodynamics*. Vol.2. N.1, 39-47, 2007.
- Carlo Borghi, *Saggi sul problema religioso*, Citta' Armoniosa: Reggio Emilia, pp. 25-41, 1978.
- Enzo Tiezzi, *Verso una fisica evolutiva*, Donzelli Editore: Roma, pp. 53-69, 151-160, 2006
- U. Mastromatteo, "Complexity management in manufacturing microsystems: remarks on artificial and natural system comparison."; Springer - Sensors and Microsystems, AISEM 2010 proceedings, Vol. 91, pp 265-269;
- L. De Marchi, V. Valenzi; "Willhelm Reich, una formidabile avventura scientifica e umana", Macro Edizioni, Appendice I, pp. 235-273, prima edizione 2007