



Roberto Saracco

Il futuro della legge di Moore

APCGEO

Il futuro della Legge di Moore

Autore:

Roberto Saracco, Future Centre, TILAB

Copyright ©2002 – Roberto Saracco, Apogeo

Via Natale Battaglia 12 – 20127 Milano (Italy)

Telefono: 02-28970277 (5 linee r.a.)

Telefax: 02-26116334

Email apogeo@apogeoonline.com

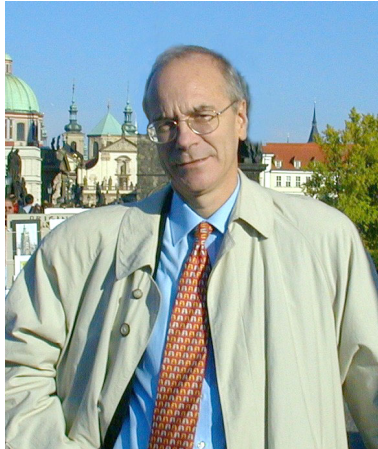
U.R.L. <http://www.apogeoonline.com>

Responsabile editoria digitale: Alberto Mari

Copertina: Enrico Marcandalli

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e a norma delle convenzioni internazionali. È consentita la riproduzione integrale del testo senza alcuna modifica purché a fini non di lucro, inserendo chiara citazione degli Autori e dell'Editore. Nomi e marchi citati nel testo sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

Roberto Saracco



Diplomato in informatica, laurea in matematica, ha partecipato alla evoluzione delle telecomunicazioni iniziando la sua carriera professionale scrivendo programmi per prima centrale elettronica in Italia (1971).

Ricercatore per oltre 30 anni presso lo CSELT, oggi TILAB www.tilab.com, è direttore del Future Centre <http://fc.telecomitalia.com>, fa parte del Councils of Advisors <http://www.thecouncils.com/>, è Vice Presidente della ComSoc, www.comsoc.org, con responsabilità per i servizi, e insegna in vari master di economia e telecomunicazioni in università italiane.

Tra le sue attività del passato: ha partecipato alla realizzazione della prima rete dati italiana, alla realizzazione del centro nazionale di controllo della rete, ai gruppi di definizione dei piani di ricerca nell'ITC a livello europeo. Nel periodo 1999-2000 ha sviluppato un progetto per la World Bank per sviluppare idee imprenditoriali nella America Latina che ha portato ad un centinaio di iniziative nel settore Internet.

Autore di alcuni libri (il più recente *The disappearance of telecommunications*, <http://www.wiley.com/cda/product/0,,0780353870%7Cdesc%7C2815,00.html>) e numerosi articoli (i più recenti <http://fc.telecomitalia.com/articoli.htm>) è interessato alle innovazioni ed al loro impatto nella vita di tutti i giorni, alla storia del pensiero scientifico e tecnologico, alla medicina e ...ai trenini. roberto.saracco@tilab.com

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Cosa succede se l'evoluzione si arresta?	2
1.2	Cosa succede se l'evoluzione non si arresta?	3
2	Il successo della legge di Moore	5
2.1	Uno standard per misurare l'innovazione	6
3	Cosa significa la "legge di Moore"	11
4	Le sfide da superare	17
4.1	Energia: dissipazione	17
4.2	Energia: consumo	20
4.3	Sincronizzazione	22
4.4	Packaging	23
4.5	Processo produttivo	23
4.6	Nano tecnologie	24
5	L'estensione della legge di Moore	27
5.1	La radio nel chip	27

5.2	Sensori nei chip	29
5.3	MEMS nel chip	33
5.4	L'ottica nel chip	35
6	Le implicazioni sul mercato	39
6.1	La scomparsa del PC	40
6.2	Tecnologia "usa e getta"	42
6.3	La prevalenza del servizio	45
6.4	La crescita delle consolle	46
6.5	La società dell'informazione	48

Introduzione

Nei prossimi 5-7 anni, credo che assisteremo e dovremo gestire un cambiamento radicale del mondo attorno a noi a causa dell'evoluzione della microelettronica. Questo cambiamento non sarà causato dall'arrivo al capolinea della validità della legge di Moore ma da aspetti economici indotti dalla *persistenza* di questa legge, e relative implicazioni sulla diffusione dell'elettronica, e dalla sua *estensione* ad altri contesti.

Se questo avverrà nel 2005 o nel 2010 non è semplice prevederlo, in quanto il cambiamento sarà un cambiamento globale, non puntuale. La deformazione in un punto del continuo economico-funzionale in cui ci troviamo, causata dalla legge di Moore, induce deformazioni in tutto lo spazio con ripercussioni a catena che portano sia ad accelerazioni sia a resistenze e rallentamenti.

1.1 Cosa succede se l'evoluzione si arresta?

Fino a qualche anno fa la domanda che molti si ponevano era: "Cosa succederà quando la legge di Moore raggiungerà il capolinea, quali implicazioni economiche e quali cambiamenti si produrranno in una struttura di mercato che è diventata così legata a questa legge e quindi "abituata al continuo aumento di prestazioni e decremento dei prezzi?". Credo che oggi la domanda abbia perso interesse, almeno in parte, in quanto ben prima che la legge di Moore arrivi al suo capolinea "fisico"¹ interverranno degli elementi, causati dalla durata della validità della legge di Moore, che porteranno a cambiamenti ben più radicali.

¹Per chi fosse interessato ad esplorare quali sono i limiti fisici teorici della legge di Moore, cioè quale è la massima potenza elaborativa raggiungibile e la massima densità di informazioni può leggere l'articolo "Ultimate physical limits to computation" di Seth Lloyd, pubblicato su Nature, Vol. 406, 31 agosto 2000, e le discussioni relative "How Fast, how small, and how powerful?: Moore's law and the ultimate laptop". <http://www.edge.org/discourse/information.html>

Chip	Anno di introduzione	Transistors
4004	1971	2.250
8008	1972	2.500
8080	1974	5.000
8086	1978	29.000
286	1982	120.000
386(tm)	1985	275.000
486(tm) DX	1989	1.180.000
Pentium(r)	1993	3.100.000
Pentium II	1997	7.500.000
Pentium III	1999	24.000.000
Pentium 4	2000	42.000.000
Pentium 4 – 13 nm	2002	55.000.000

1.2 Cosa succede se l'evoluzione non si arresta?

La domanda quindi diventa: "Cosa succederebbe se la legge di Moore continuasse ad essere valida per i prossimi 10 anni?". Questa domanda è molto più importante della precedente in quanto è quella che si presenta per prima e che in qualche modo rende irrilevante la precedente.

In questo e-book mi propongo di esaminare alcune delle implicazioni di questa seconda domanda, in

particolare rispetto al settore delle telecomunicazioni.

Il successo della legge di Moore

Nel 1965, 37 anni fa, Gordon Moore, in un articolo che la rivista Electronics¹ gli aveva richiesto per delineare il possibile progresso dell'elettronica, fece la supposizione che l'incremento della capacità elaborativa sarebbe proseguito per tutti gli anni 70 al ritmo di un raddoppio ogni 12 mesi. Questa previsione fu poi corretta dallo stesso Moore in due periodi successivi, prima portandola ad un raddoppio ogni 2 anni (nel 1975 e estendendone la validità agli anni 80) e quindi a fine anni 80, sulla base di osservazioni della evoluzione negli anni precedenti, a 18 mesi (estendendola agli anni 90).

¹Era il numero di Aprile 1965; Moore aveva appena finito di realizzare un chip contenente 60 transistori, il doppio di quello che aveva realizzato l'anno precedente. Per aumento della capacità elaborativa Moore intendeva l'aumento del numero di transistori nel singolo chip.

2.1 Uno standard per misurare l'innovazione

Quella supposizione non solo si è rivelata sorprendentemente corretta per un periodo molto lungo ma è diventata il metro di misura e un obiettivo per le aziende che operano nel settore tanto da essere percepita come una legge, non come una supposizione.

Fin dalla sua enunciazione diversi scettici hanno levato la loro voce contro la sostenibilità di tale evoluzione nel tempo. Le motivazioni, tutte tecnicamente fondate, sono cambiate nel tempo via via che ingegnosi ricercatori trovavano delle strade alternative a volte superando l'ostacolo, altre volte rimuovendolo del tutto.

Ad aprile di quest'anno in occasione del Development Forum² Intel, il responsabile per le tecnologie, Gelsinger, ha affermato che la legge di Moore potrà continuare anche per questa decade e per i primi anni della successiva. Anche in questo caso non mancano gli scettici e vale la pena riportare le loro obiezioni per apprezzare ancora di più quale sia la sfida tecnologica che ci attende. L'evoluzione della microelettronica passa attraverso una progressiva riduzione sia dei transistor nel chip

²<http://www.siliconstrategies.com/story-/OEG20020228S0036>

sia attraverso una riduzione delle connessioni tra loro e di quelle che collegano il chip ai connettori esterni.

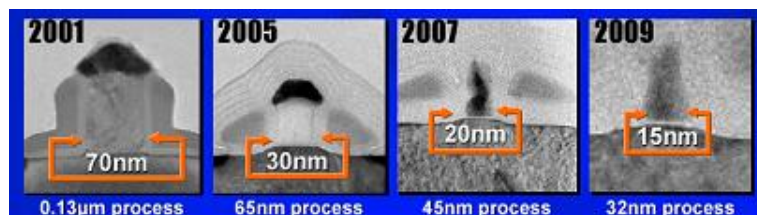


Figura 2.1: Transistor per chip realizzati con tecnologie diverse visti al microscopio elettronico.

La dimensione dei circuiti di connessione è spesso utilizzata come metro di misura: oggi i chip più avanzati sono prodotti con una tecnologia a 130 nanometri (130 miliardesimi di metro) la previsione per il 2005 è a 65 nanometri, per il 2007 a 45 nanometri, per il 2009 scenderemo a 32. Di pari passo scende la dimensione del transistor, oggi a 60 nanometri, per arrivare al 2009 a 15 nanometri³, molto più piccolo di un virus.

³<http://www.technologyreview.com/articles/innovation10602.asp>. In Figura 2.1 foto al microscopio elettronico di transistor per chip realizzati con varie tecnologie via via più potenti. Le foto sono riprese dalla presentazione di Patrick Gelsinger, Vice President Intel, del 28 febbraio 2002 in occasione dell'Intel Development Forum. Presentazione disponibile su www.intel.com/labs

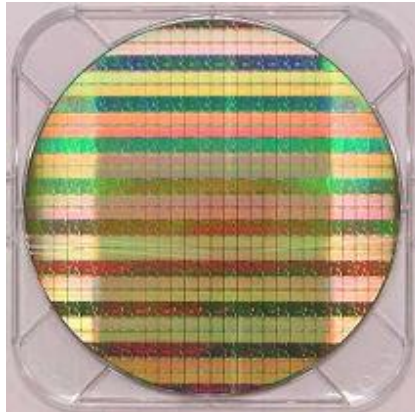


Figura 2.2: Wafer in tecnologia a 90nm.

Alla diminuzione delle dimensioni di questi componenti elementari del chip corrispondono aspetti positivi e alcuni negativi. Un aspetto positivo è che al decrescere delle dimensioni cresce il numero di componenti che si possono mettere nel chip: oggi siamo a 55 milioni di transistor in un Pentium 4 e a 200 milioni in chip per server ad alte prestazioni (come il McKinley della Intel); per il 2005 si prevede di arrivare a densità di 500 milioni di transistor per chip e per il 2010 a 10 miliardi. Nella Figura 2.2 un wafer in tecnologia a 90 nm contenente qualche centinaio di chip per un totale di 120 miliardi di transistor. Al crescere del numero di transistor crescono

ovviamente le funzionalità che il singolo chip può fare e quindi decresce il costo per funzionalità⁴. Allo stesso tempo la maggiore densità consente un aumento della velocità di elaborazione anche questa contribuendo ad aumentare le funzionalità. La velocità di elaborazione dipende a livello "base" da quanto velocemente è possibile azionare il singolo transistor e dal tempo che si impiega a trasmettere l'informazione del cambio di stato da un transistor all'altro⁵. In seconda approssimazione la velocità di elaborazione dipende dal grado di parallelizzazione delle operazioni che sono eseguite

⁴ Così come le case hanno un prezzo "al mq" così per i chip il prezzo dipende dalla loro "superficie" (in prima approssimazione). Questo ci fa capire come riducendo le dimensioni dei componenti elementari si ha una riduzione dei prezzi (o si mantenga il prezzo aumentando le funzionalità rese possibili dal maggior numero di componenti).

⁵ Intel ha annunciato nella primavera del 2002 di essere riuscita a commutare un transistor 1000 miliardi di volte in un secondo. Questo significa che una singola commutazione avviene in un millesimo di miliardesimo di secondo. Quanta strada riesce a fare la luce in questo tempo? Sappiamo tutti che la velocità della luce nel vuoto è di circa 300.000 km al secondo, non male rispetto alla velocità media della nostra auto in città. Tuttavia in un millesimo di miliardesimo di secondo la luce percorre solo 3 decimi di millimetro! Il segnale della avvenuta commutazione di un transistor, quindi, non riesce ad arrivare ad un transistor nel chip che si trovi più distante di questa distanza (in realtà il segnale non riesce ad arrivare oltre il decimo di millimetro in quanto il campo elettromagnetico nel chip si espande a velocità inferiore a quello nel vuoto).

nel chip e da quanto i singoli "pezzi" del chip devono aspettare per avere i dati da elaborare. La maggiore densità permette di parallelizzare maggiormente le elaborazioni e di accumulare in aree vicine a dove questa avverrà le informazioni necessarie.

Da notare che gran parte del progresso che si è avuto in questi ultimi dieci anni in vari settori, dalla analisi delle immagini al riconoscimento e sintesi della voce, dai telefonini cellulari al controllo computerizzato dell'accensione nei motori a scoppio, dal gioco degli scacchi su computer alla decodifica del genoma umano sono una diretta conseguenza dell'aumentata capacità di elaborazione. Non siamo diventati più "bravi" nel programmare i computer, semplicemente sfruttiamo la maggiore forza "bruta" che si è resa disponibile.

Cosa significa la "legge di Moore"

Cosa significa affermare che la microelettronica raddoppia la sua capacità ogni 18 mesi? Significa che nei prossimi 18 mesi avremo un progresso *equivalente* a quello che si è avuto negli ultimi 37 anni!

Questa è la vera velocità a cui dobbiamo guardare per renderci conto di quanti cambiamenti siano all'orizzonte e questo ci fa comprendere come mai molti ricercatori dicano che ciò che abbiamo visto finora è nulla se paragonato a quello che ci attende. Se leggiamo la legge di Moore in termini di costo per singolo transistor vediamo che questo in 37 anni è passato da 8 dollari a un milionesimo di dollaro (con un dollaro acquistiamo 1 milione di transistor). Questo costo è solo una parte del costo complessivo. Una volta per fare la "custodia" di un transistor si dovevano spendere circa cinquanta centesimi. Oggi, per fare la custodia di un chip

dobbiamo spendere all'incirca la stessa cifra. Questo significa che quello che costa non è più il transistor, la capacità elaborativa, ma il packaging. Significa anche che se ci è sufficiente una piccola capacità elaborativa – relativamente parlando – e riusciamo ad annegarla in chip che comunque dovremmo usare allora questa è praticamente gratis. Questo ha portato a chiavi elettroniche per aprire le serrature delle camere in molti hotel, ogni serratura, in pratica, è un computer, a borsellini elettronici, bigliettini di auguri¹ che suonano delle musicchette, giocattoli che parlano, trenini che vengono pilotati singolarmente pur percorrendo gli stessi binari sul plastico...

Oggetti comuni, come il tostapane, la lavatrice, gli impianti stereo... tutti hanno ormai un computer al loro interno, spesso utilizzato per semplificare le interazioni. Il telecomando del televisore, dello stereo, del cancello del garage... è quasi sempre un computer. L'interessante è che, in tutti questi esempi, il computer in pratica non viene fatto pagare, è un pezzetto integrato e integrante dell'oggetto.

Il disporre di capacità elaborativa a costo "zero"

¹Un bigliettino musicale contiene un computer che ha una potenza elaborativa paragonabile a quella fornita 30 anni fa da un IBM 360, un mainframe delle dimensioni di qualche metro cubo. Il Palm che vi sta nella mano ha una capacità elaborativa di circa 50 volte superiore.

permette anche di immaginare dei computer, grandi come granelli di sabbia, disponibili a centinaia di migliaia. Questi potrebbero essere gettati "a secchiate" su di un certo territorio, magari da un aereo in volo a bassa quota coprendo quindi un'ampia superficie. Questa sabbia intelligente potrebbe fornire un ambiente distribuito di elaborazione in luoghi in cui normalmente sarebbe impossibile avere un computer (e soprattutto una presa di corrente cui attaccarlo). Un'idea folle, senza dubbio, ma è proprio quella a cui si sta lavorando a Berkeley in una ricerca finanziata dal dipartimento della difesa americano. Ad oggi, i ricercatori sono riusciti a miniaturizzare computer e sistema di comunicazione in dimensioni intorno ai 6 mm, come mostrato nella Figura 3.1 in cui si vede il prototipo di quella che i ricercatori chiamano "Smart Dust"². Il grosso del sistema è rappresentato dalla batteria, la pastiglia sotto il circuito. Metà della superficie è presa dal pannello solare, la parte a sinistra nel chip, mentre il resto contiene la struttura elaborativa, la memoria e la parte di comunicazioni. La miniaturizzazione permette di integrare sempre più facilmente i chip in qualunque oggetto,

²Il progetto Smart Dust, polvere intelligente, è condotto dal prof. Sangiovanni Vincentelli. Per un resoconto su questa e altre ricerche collegate: <http://www.edtn.com/story/tech/OEG20000103S0011-R>

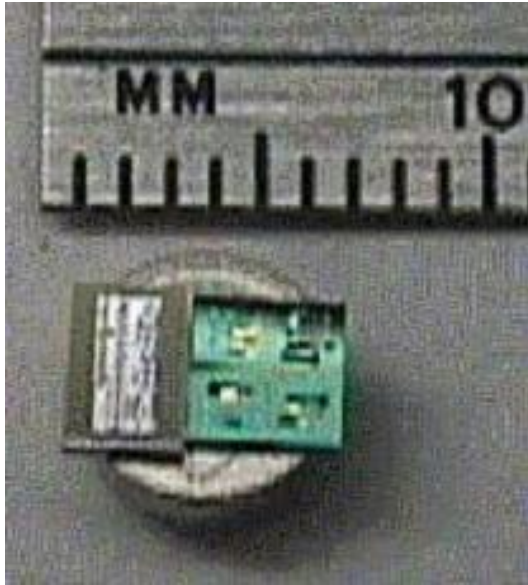


Figura 3.1: Prototipo di "Smart Dust" realizzato a Berkeley.

rendendolo in qualche misura intelligente, capace cioè di interagire con l'ambiente circostante. Inoltre il minor consumo energetico consentito dalle minori dimensioni dei transistor consente di utilizzare piccolissime quantità di energia. Diventa allora possibile avere dei sistemi senza batteria che possono essere alimentati da un campo elettromagnetico trasmesso via radio. È in questo modo, ad esempio, che si leggono le tag, etichette

elettroniche che sempre più identificheranno oggetti intorno a noi. Inoltre la semplice pressione di un tasto, tramite effetto piezoelettrico, consente di generare una corrente sufficiente ad alimentare un piccolo circuito e trasmettere informazioni³.

³Una azienda tedesca metterà in commercio nell'autunno del 2002 un interruttore senza fili in grado di comandare via radio una lampadina, o quant'altro, tramite un segnale radio generato tramite la pressione del pulsante. <http://www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99992382>

Le sfide da superare

Prima di affrontare le implicazioni della legge di Moore, credo sia utile delineare anche quali siano le sfide tecnologiche che si debbono superare perché questa possa continuare ad avere valore nei prossimi anni. Infatti il superamento di queste sfide innesca, a cascata, ulteriori progressi anche in altri settori.

4.1 Energia: dissipazione

Ho detto di come il transistor stia diventando sempre più piccolo e come questo ci consenta di utilizzare una energia sempre più piccola per farlo funzionare. In effetti oggi “consumiamo” una piccola frazione dell’energia che una volta era necessaria. Tuttavia se sfruttiamo, come facciamo per i chip dei PC, questa diminuzione di dimensione per mettere più transistor uno vicino all’altro, aumentiamo cioè la densità, allora il bilancio

energetico complessivo aumenta. Infatti un transistor che si dimezza consente di mettere nello spazio precedente 4 transistor, se le sue dimensioni sono un decimo delle precedenti in quello spazio ora ci staranno 100 transistor. In prima approssimazione possiamo dire che l'energia per transistor scende in modo lineare ma siccome il numero di transistor aumenta con il quadrato l'energia complessiva richiesta aumenta.

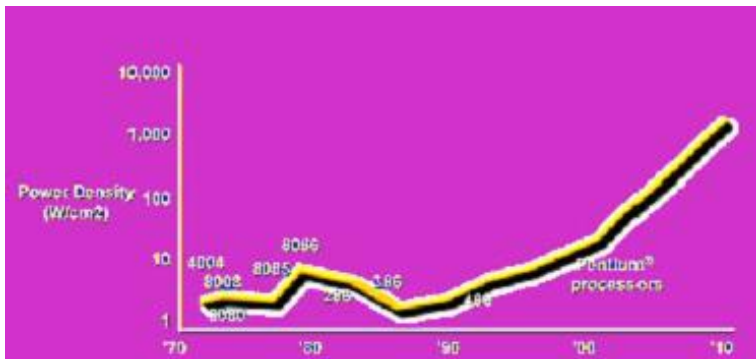


Figura 4.1: Dissipazione di energia nei processori Intel.

Come mostrato in Figura 4.1 ¹, il paleolitico Intel 8080 dissipava circa 1 W per centimetro quadrato.

¹La figura è ripresa dalla presentazione di Patrick Gelsinger, Vice President Intel, del 28 febbraio 2002 in occasione dell'Intel Development Forum. Presentazione disponibile su www.intel.com/labs

Il 386 dissipava circa 5 W mentre il Pentium 2 arrivava a 10 W. Cosa significa? Se toccate un chip Pentium scoprite che è caldo, come un piatto che il cameriere vi ha appena portato dicendovi: "attenzione, scotta".

Alla densità prevista per il 2005 il chip raggiungerebbe una temperatura paragonabile a quella di un reattore nucleare (in funzione, non uno che sta scoppiando), mentre alla densità ipotizzata per il 2009 la dissipazione raggiungerebbe i 2000W al centimetro quadrato e la temperatura sarebbe equivalente a quella degli ugelli di un razzo, intorno ai 1200 gradi. Il Sole ha una dissipazione intorno ai 10.000 W al cm^2 , una dissipazione che si raggiungerebbe in un chip nel 2015, se immaginiamo che la densità del chip continui ad aumentare al ritmo di oggi, senza che intervengano innovazioni nella sua struttura.

Qualcosa non va. È chiaro che se non si inventano dei sistemi che abbattano decisamente consumo di energia e dissipazioni non sarà possibile raggiungere queste densità. Al momento vi sono solo alcune speculazioni sul come questo possa essere fatto, ivi incluso l'utilizzo di canali di comunicazione ottica all'interno del chip al posto delle connessioni con elettroni (i fotoni dissipano enormemente meno rispetto agli elettroni...). La IBM, ad esempio, ha annunciato la realizzazione di un chip contenente 72 milioni di transistor

realizzato con una nuova tecnologia che permette un risparmio di energia stimato in circa il 40%². Pur ipotizzando nuove tecnologie a consumo ed emissione ridotta occorre migliorare sensibilmente la capacità di raffreddamento del chip. Su questo versante le idee sono più precise e chiamano in causa la tecnologia dei MEMS (Micro Electro Mechanical Systems). Tramite questa tecnologia si potrebbero realizzare dei microscopici radiatori per disperdere il calore evitando quindi un riscaldamento eccessivo del chip.

4.2 Energia: consumo

Ovviamente tutta questa energia dissipata deve essere fornita in termini di alimentazione (oltre ad una ulteriore quantità che viene utilizzata per fare funzionare il chip, ma questa è una quantità trascurabile). In linea di principio il problema non esiste per tutti quei chip che possono essere alimentati dalla rete. Ben diverso è il caso di quelli che devono essere alimentati tramite batterie. L'evoluzione delle batterie (misurabile in capacità di corrente erogabile per unità di volume della

²http://www-3.ibm.com/chips/news/2002/0610_asic.html

Si noti che occorre arrivare ad un risparmio di almeno il 50% nel consumo e dissipazione ogni 18 mesi per poter pareggiare il bilancio energetico conseguente alla legge di Moore. Questo non sta accadendo.

batteria) è stata notevole ma la parallela evoluzione della voracità dell'elettronica ha fatto sì che questa rimanga insufficiente e che nel prossimo futuro diventi un vincolo che blocca l'utilizzo di circuiti a più alta potenzialità³.

All'orizzonte si prevede un costante miglioramento della efficienza delle batterie ma la vera svolta si ritiene possa derivare da sistemi alternativi, come le microturbine⁴ proposte dal MIT. Queste si alimentano a gas liquido (quello degli accendini) e con una velocità di rotazione di un milione di giri al minuto sarebbero in grado di produrre con una goccia di gas quanto basta per far funzionare un laptop di oggi per due ore. Il trucco sta nella maggiore capacità del gas liquido di immagazzinare energia rispetto ai composti utilizzati nelle batterie. Prepariamoci quindi, nella seconda parte di questa decade, a girare con un laptop a turbina.

³Questo è il motivo per cui non abbiamo dei Palm potenti come un PC, per cui la macchina fotografica digitale impiega tempo tra una foto e l'altra per elaborare e trasferire le immagini nella memoria. Chip più veloci sarebbero disponibili ma consumerebbero di più prosciugando le batterie.

⁴Le dimensioni del sistema di generazione di elettricità tramite microturbina sono di circa un cm³. Inferiori di parecchio, quindi, a quelle di una batteria di oggi. In quello stesso spazio potrebbe trovare posto tanto di quel "carburante" da consentire di far funzionare un laptop di oggi per qualche mese.

4.3 Sincronizzazione

All'aumentare della velocità diminuisce il tempo a disposizione per il segnale elettromagnetico per espandersi da un punto all'altro del chip. Non solo. L'incremento di dimensione del chip stesso crea dei percorsi interni di trasmissione del segnale con distanze differenti. Questo sta diventando critico per la trasmissione del clock, il segnale di sincronismo che, come un direttore d'orchestra, dà il tempo a tutte le parti del chip. Mentre inizialmente il clock era esterno e serviva ad allineare il funzionamento di diversi chip, da alcuni anni a questo se ne è aggiunto uno interno perché i chip di oggi hanno vari componenti che funzionano in parallelo. Spinte funzionali ed economiche portano a aumentare sempre più le dimensioni del chip (dai 2 mm² di un 4040 si è passati ai 600 mm² di un Pentium 4) aumentando ulteriormente il problema⁵.

⁵I System on Chip (SoC) saranno l'elemento dominante nel panorama della microelettronica al 2005. Un solo chip fornisce tutte le funzionalità richieste minimizzando costi e spazi. La sua dimensione sarà, in generale, maggiore di quella di un chip di oggi.

4.4 Packaging

Ho già notato come la discesa del costo per transistor derivante dalla legge di Moore non si possa applicare direttamente al costo del packaging. Anzi, il crescere della complessità del chip si riflette in un aumento della complessità del packaging. Le interconnessioni elettriche e meccaniche tra i transistor interni ed il mondo esterno sono realizzate tramite piccole sfere di giunzione (saldature). Queste aumentano lo spessore del chip e fanno da barriera ad ulteriori incrementi di prestazioni.

4.5 Processo produttivo

Recentemente Intel ha annunciato una nuova tecnologia⁶ che consente, in pratica, di far crescere il packaging sui transistor anziché dover racchiudere, connettendoli, i transistor nella scatola. Questa tecnologia, insieme ad altre in cui il chip viene annegato in vari tipi di materiale, potrebbe dimostrarsi enormemente importante per disseminare capacità elaborativa in ogni oggetto. Il costo delle linee di produzione dei chip cresce con una legge che è molto simile a quella di Moore e diversi "critici" considerano che sia questo

⁶BBUL: Bumpless Build up Layer

l'elemento limitante alla evoluzione, un vincolo economico⁷. I sistemi litografici, quelli cioè che permettono di realizzare le maschere e la deposizione degli atomi che compongono il chip, devono essere sempre più raffinati; il grafico in Figura 4.2 rappresenta la crescita dei costi negli ultimi 30 anni, fino al 2001. Oggi si utilizzano tecniche con una risoluzione di 90 nm ma sono all'orizzonte tecniche basate su litografia nell'estremo ultravioletto⁸ che consentono risoluzioni inferiori ai 50 nm.

4.6 Nano tecnologie

Approcci più radicali, ma ancora a livello di esperimenti di laboratorio universitario, sono basati sulla capacità di autocostruzione da parte dei singoli atomi e da utilizzo di nanotecnologie per la

⁷Lo stesso Moore in una intervista del 1975 citava l'aspetto dei crescenti costi di produzione come il vincolo più forte alla ulteriore applicazione della sua legge. All'inizio del nuovo secolo (cioè oggi), con l'approccio tecnologico esistente allora un impianto per la produzione di chip avrebbe richiesto un investimento equivalente al prodotto economico lordo del mondo. Già oggi il costo di un singolo stepper (passo) nella produzione del wafer, e ne sono necessarie alcune centinaia nel processo produttivo, è intorno ai 10 milioni di \$.

⁸EUV: Extreme Ultraviolet; è stato un consorzio apposito, guidato da Intel, per lo sviluppo di questa tecnologia. L'utilizzo industriale dovrebbe partire dal 2005.

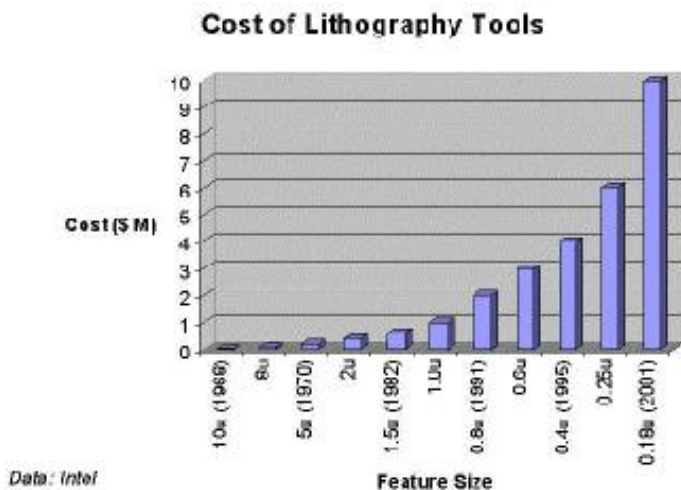


Figura 4.2: Crescita dei costi dei sistemi litografici negli ultimi 30 anni.

fabbricazione dei chip. Alcuni esperimenti hanno mostrato la fattibilità ma la quantità di chip producibili con questi sistemi è bassissima per cui sarà difficile che nei prossimi 10 anni questi possano avere un utilizzo commerciale. Occorre anche sfatare l'alea di mistero e di eccessive aspettative sulle nanotecnologie applicate alla microelettronica. Oggi la dimensione dei transistor in un chip e dei diversi componenti sono già al livello delle nanotecnologie "spinte". Un gate su un transistor di

30 nm⁹ ha uno spessore di 3 atomi, 8 decimi di nm. I processi litografici in uso sarebbero in grado di disegnare 10 linee parallele su di una singola catena di DNA.

I transistor vengono utilizzati sia per memorizzare bit sia per elaborazione. Mentre per la memorizzazione esistono varie alternative, un bit potrebbe stare anche su di un singolo elettrone, per la elaborazione occorre far passare corrente, le informazioni devono essere trasportate. E in questo settore, ad oggi, non vi sono alternative al silicio.

Computer ottici e quantici, basati su soluzioni chimiche, sono ancora allo stadio speculativo. I prototipi realizzati dimostrano solo che la teoria ha un riscontro nella pratica in alcuni punti.

Il costo della produzione è relativo al wafer, cioè alla piastra su cui sono creati i chip. Quanto più questa è grande tanto minore è il costo per singolo chip. Oggi si iniziano ad utilizzare piastre da 300 mm con una riduzione dei costi¹⁰ dell'ordine del 30% (ed una riduzione della energia necessaria per la produzione dell'ordine del 40%).

⁹Oggi il transistor nella tecnologia in produzione è a 60 nm. Il 30 nm sarà utilizzato a partire dal 2005.

¹⁰Queste riduzioni di costi si ottengono presupponendo che l'incremento di capacità produttiva sia in effetti assorbibile dal mercato. Da questo deriva la spinta alla diffusione dell'elettronica in tutti i campi.

L'estensione della legge di Moore

La crescente capacità elaborativa e il suo minor costo ha ovviamente influito in moltissimi campi generando una accelerazione in vari settori come i MEMS, i sistemi cellulari, la trasmissione ottica (che richiede elettronica ai suoi estremi), tecnologie biologiche (bioelettronica)...

Tuttavia con "estensione" della legge di Moore si intende la capacità di portare "*altre tecnologie*" all'interno del chip creando dei chip con funzionalità più estese che seguono, nella loro evoluzione, la legge di Moore.

5.1 La radio nel chip

Vediamone alcune che potrebbero avere un grande impatto nei prossimi anni.

Le radio digitali non sono una novità, tuttavia se

apertissimo una di queste radioline, per piccola che sia, troveremmo all'interno diversi componenti oltre ad alcuni chip. Infatti la parte di generazione del segnale radio e della sua captazione (antenna e relativi apparati) non possono essere integrati nel chip¹, o meglio non potevano. Ricercatori della Università della Florida² hanno dimostrato il primo prototipo di sistema di comunicazione completamente realizzato, anche per la parte radiotrasmittente e antenna, in un chip della dimensione di un'unghia. Diventa possibile immaginare dei sistemi radio con le dimensioni di un chicco di riso a costi "trascurabili". Intel è andata oltre annunciando di avere allo studio chip con queste caratteristiche e, ancora più importante, di prevedere che per il 2010 la maggioranza dei chip avrà integrata una funzionalità che permette di ricevere e trasmettere segnali radio.

La realizzazione in silicio della radio consente anche di integrare sul chip funzionalità di elaborazione rendendo flessibile l'interfaccia radio. Il singolo chip può pertanto comunicare su una WWAN (telefonino) e anche su una WLAN (con interfaccia 802.11x) o anche in una WPAN (magari utilizzando

¹Per la modulazione del segnale radio, che viene effettuata in analogico, si utilizza il Gallio-Arsenico che fornisce le prestazioni richieste dalla Radio Frequenza. La tecnologia GaAs non segue la legge di Moore.

²www.ufl.edu, l'annuncio è stato dato a maggio 2002

l'UWB)³. Via Software Radio diventa possibile riconfigurare il chip e quindi adattare la trasmissione radio alle disponibilità locali. Non solo. La integrazione della radio a livello del singolo chip potrebbe fornire una soluzione al problema della sincronizzazione. Alcuni ricercatori ritengono che il segnale del clock potrebbe essere distribuito via radio all'interno del chip raggiungendo, praticamente in contemporanea tutti i transistor.

Non è impossibile quindi immaginare dei sistemi radio delle dimensioni di un grano di riso. In prospettiva queste funzionalità radio potrebbero diventare parte integrante di moltissimi chip⁴ consentendo la formazione di vere e proprie reti. Questa miniaturizzazione (e il relativo bassissimo costo) li rende interessanti per la costruzioni di sensori che possono comunicare via radio.

5.2 Sensori nei chip

L'integrazione di capacità di monitorare l'ambiente esterno al chip all'interno del chip stesso offre interessanti prospettive. Di recente è stato

³WWAN: Wide Wireless Area Network, WLAN: Wireless Local Area Network; WPAN: Wireless Personal Area Network; UWB: UltraWideBand

⁴<http://www.technologyreview.com/articles-/stateofinnov20602.asp>

dimostrato un chip avente un microfono integrato, altri con la capacità di annusare la presenza di alcuni composti chimici, altri in grado di rilevare la presenza di batteri...

L'integrazione consente di abbattere i costi ed insieme alle dimensioni minime del chip ne consente l'utilizzo in qualunque contesto. Ad esempio sono in corso degli studi per dei chip da inserire nei cerotti in grado di rilevare se la ferita sottostante si infetta e dare quindi l'allarme prima ancora che si manifestino sintomi clinici. Culle di neonati potrebbero essere dotate di un sensore di respiro e diventare quindi in grado di dare l'allarme se il piccolo ha problemi⁵.

L'elemento che ha forse un interesse ancora maggiore è l'associazione di funzionalità radio ai sensori in quanto diventa possibile creare delle reti di sensori per il controllo di un intero ambiente. Ad esempio sensori inseriti nella tappezzeria di un edificio possono essere in grado di rilevare ogni piccolo movimento e comunicarlo via radio prevenendo modificazioni strutturali dell'edificio. Zone a rischio sismico potrebbero essere in grado di segnalare con anticipo l'aumento delle condizioni prodromiche al terremoto...

⁵I ricercatori stanno studiando l'applicazione per la sindrome neonatale di morte improvvisa in cui senza apparente motivo ad un certo punto un neonato smette di respirare. Se si ha una immediata segnalazione si può intervenire e salvarlo.



Figura 5.1: Sensori inseriti nei sassi del parco nazionale di Maui per monitorare l'attività vulcanica.

Nel parco nazionale di Maui, i ricercatori hanno annegato sensori in migliaia di sassi del parco (nella fotografia mostrata in Figura 5.1, presa mentre in laboratorio i tecnici stavano per introdurre i sensori al loro interno) creando una rete di monitoraggio del vulcano. Ciascun sasso comunica con i sassi vicini e li usa anche come ripetitori per poter inviare le informazioni a distanza. In un punto (o più) viene situata una antenna che collega questa rete locale con la rete di telecomunicazioni consentendo quindi la rilevazione da remoto delle condizioni del parco. La casa può diventare un ambiente in cui centinaia di sensori tengono d'occhio quanto succede. Oggi abbiamo sensori a infrarossi o a microonde per

proteggerci dalle intrusioni ma in un prossimo futuro ogni oggetto potrebbe essere dotato di un sensore radio che rileva anche la posizione rispetto ad altri oggetti. Se qualcuno sposta l'oggetto il sistema casa lo rileva immediatamente e se del caso lo comunica.

Le strade stesse possono diventare ambienti attivi, tramite centinaia di migliaia di sensori che misurano il traffico, le condizioni dell'asfalto, la presenza di animali⁶...e questi sensori possono dialogare anche tra loro, ad esempio con le auto per scambiare informazioni.

Oggi siamo abituati a decine di milioni di laptop che comunicano via radio, a un miliardo di telefonini; tra cinque anni dovremo fare i conti, e sfruttare, decine di miliardi di sensori con capacità di comunicazione radio. Ed è da questi che ci si aspetta un notevole aumento del traffico sulle reti di telecomunicazioni. I sensori saranno "laconici", pochi byte per ogni comunicazione, ma ce ne saranno tantissimi e ciascuno comunicherà spesso. Alcuni di questi sensori avranno, fianco a fianco integrato nel chip, degli attuatori che consentiranno di interagire con l'ambiente. Sono stati sviluppati, ad esempio, dei micro dispenser in grado di rilasciare composti chimici nell'ambiente, integrati

⁶In alcuni parchi canadesi le strade rilevano la presenza di alci e tramite cartelli luminosi avvertono del pericolo i rari automobilisti di passaggio.

sul chip. La capacità di elaborazione locale a volte sarà in grado di comandare il dispenser per rilasciare alcune molecole nell'ambiente, in altri casi l'ordine arriverà via radio al chip a seguito delle informazioni che questo ha fornito. Sono in corso alcune sperimentazioni per l'impianto di chip sotto pelle a malati che soffrono di particolari patologie. Quando viene rilevata una situazione anomala il sistema elaborativo (residente sul chip o da remoto) può decidere di far rilasciare specifici medicinali nel paziente. L'obiettivo è di riuscire ad intervenire prima ancora che si manifestino sintomi clinicamente percepibili dal paziente.

5.3 MEMS nel chip

Sia i sensori sia gli attuatori spesso richiedono l'uso di microscopici elementi meccanici, ad esempio per aprire i microsportelli dei contenitori contenenti le medicine da rilasciare. Questi componenti in genere sono dei MEMS, Micro Electro Mechanical Systems⁷. In Figura 5.2 la microfotografia di uno specchio utilizzato all'interno di un chip per deviare un fascio luminoso. Un filtro posto sulla fibra ottica accoppiata al chip fa passare una certa frequenza di luce indirizzandola sul microspecchio. Questo è

⁷Per un approfondimento su questi microscopici componenti che si dice forniscano al chip occhi, orecchie e mani, si veda: www.memsnet.org

pilotato dal chip alterandone l'inclinazione, a seconda della frequenza che il filtro lascia passare, indirizzando quindi il segnale ottico in punti diversi a seconda della frequenza realizzando quindi un vero e proprio commutatore ottico.

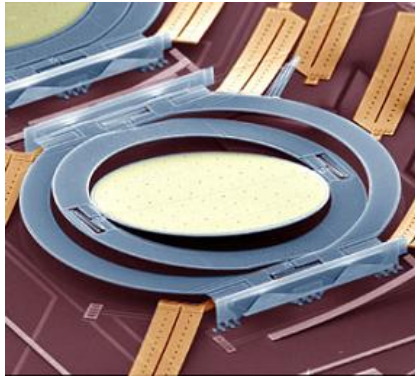


Figura 5.2: Un esempio di tecnologia MEMS: microfotografia di uno specchio utilizzato all'interno di un chip.

Contengono MEMS anche le microturbine che ho citato precedentemente per generare corrente elettrica, così come si basano sui MEMS gli studi per integrare le funzionalità radio nel chip. In questo caso, infatti, c'è bisogno di avere delle strutture che vibrino per generare il segnale radio e i MEMS essendo microscopici hanno una inerzia

praticamente nulla e consentono quindi la generazione di frequenze dell'ordine dei GHz. In effetti uno dei settori che più si avvantaggerà dai MEMS su silicio sarà quello dei cellulari⁸ che potranno diventare ancora più piccoli e far parte integrante di moltissimi oggetti.

La espansione alla legge di Moore entra in gioco in quanto si inizia a realizzare i MEMS direttamente con i processi tramite cui si realizzano i chip, sullo stesso wafer. Questo consente un abbattimento dei costi e una evoluzione in linea con Moore.

5.4 L'ottica nel chip

Ottica e microelettronica, paradossalmente, non sono buoni compagni "di chip". Entrambi sono basati su silicio ma il processo costruttivo non li rende compatibili. Eppure ottica e microelettronica devono lavorare insieme. Il segnale ottico deve essere convertito in segnale elettrico per la maggior parte dei suoi utilizzi e quello elettrico, quando lo vogliamo trasmettere su una fibra, deve essere convertito in ottico. Questo comporta costi di "conversione" e introduce anche notevoli colli di bottiglia vista la diversa velocità tra le due

⁸in cui entrano in gioco per la parte radio ma anche per il microfono e l'antenna intelligente

tecnologie⁹. Il packaging di ottica e microelettronica nell'ambito di uno stesso sistema è critico e molto costoso.

Ricerche nel settore della "silicon photonics" hanno l'obiettivo da un lato di utilizzare gli stessi processi produttivi adottati per i chip anche al settore della fotonica e dall'altra di realizzare dei componenti ottici attivi. Questi potrebbero essere utilizzati per lo sviluppo di moduli ottici riducendo costi e dimensioni.

Il portare l'ottica nel chip apre delle enormi prospettive all'utilizzo di alta velocità in ambiente consumer oltre ad abbattere il consumo di energia legato alla trasmissione del segnale. Sono stati realizzati, ad esempio, dei filtri di frequenze, utilizzabili per selezionare flussi DWDM, con una dimensione di qualche micron di larghezza e due millimetri di lunghezza. La realizzazione è effettuata su wafer come per i normali chip consentendo un'alta produttività e quindi abbattendo i costi. Diventa possibile ipotizzare un utilizzo del DWDM (o del meno costoso CWDM¹⁰) a livello residenziale.

Inoltre, a livello di singolo chip e di sistemi a più

⁹Con l'elettronica il segnale può essere gestito fino a velocità dell'ordine delle decine di GHz, nell'ottica il segnale opera a frequenze di vari THz.

¹⁰DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing; CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing

chip l'ottica su silicio apre la possibilità di aumentare il flusso dati all'interno del chip e tra i chip¹¹.

¹¹Curioso notare come a livello macro, cioè di reti di comunicazione la strozzatura in termini prestazionali è causata dalla elettronica: centrali "lente" rispetto alla capacità trasmissiva delle fibre; a livello del chip, invece, la velocità dei transistor è maggiore della capacità trasmissiva all'interno del chip e tra i chip e quindi la strozzatura a livello micro è rappresentata dal sistema di comunicazione.

Le implicazioni sul mercato

La continua crescita della capacità elaborativa (puntini nel grafico mostrato in Figura 6.1) è stata accompagnata in questi trent'anni da una crescita della domanda di capacità (linea verde); questo ha contribuito a mantenere i prezzi dei chip per la CPU dei PC a prezzi relativamente costanti come indicato dalla linea rossa (quello che è sceso in modo esponenziale è stato il costo per MIPS passato da oltre 100.000 \$ degli anni 70 a 10 centesimi di \$ per MIPS). Verso il 2005 la crescita di capacità elaborativa, tuttavia, non sarà più accompagnata da una crescita della domanda di capacità (nel settore consumer¹ che è poi quello

¹La richiesta di capacità elaborativa in alcuni settori è ancora largamente insoddisfatta. La previsione meteorologica richiede capacità che oggi non sono disponibili, neppure utilizzando dei supercomputer; il calcolo della struttura delle proteine per poter progettare nuove medicine al computer abbattendo i

che sta guidando il mercato). Questo produrrà una discesa dei prezzi al punto che anche significative quantità di capacità elaborativa potranno essere incorporate in una enorme varietà di oggetti senza per questo portare ad un aumento del loro costo (linea rossa).

6.1 La scomparsa del PC

A questo punto il PC tenderà a scomparire. Infatti viene a cadere l'interesse, prettamente economico, di avere un oggetto che sia in grado di fare qualunque cosa (il che comporta anche una complessità di uso perché di volta in volta occorre specificare cosa si vuole fare e "configurare" il PC per operare in quel modo). Le funzionalità dei

tempi di ricerca da una decina di anni a pochi mesi richiede una enorme capacità elaborativa che oggi non è disponibile; il riconoscimento di persone sulla base di come si muovono richiede la ricostruzione tridimensionale a partire da più immagini bidimensionali, di nuovo comportando una enorme capacità elaborativa...Gli esempi sono molti ma pur essendo così numerosi non sono così frequenti da creare un mercato di tipo consumer che continui a "spingere" per una maggiore capacità elaborativa. È comunque interessante notare che sono proprio queste necessità di maggiore capacità elaborativa che continueranno a spingere verso la continuità della legge di Moore, e da questa maggiore capacità deriverà una ulteriore spinta verso l'abbattimento dei prezzi, così come la maggiore potenza dei PC ha abbattuto il prezzo dei chip nelle serrature e nei bigliettini di auguri...

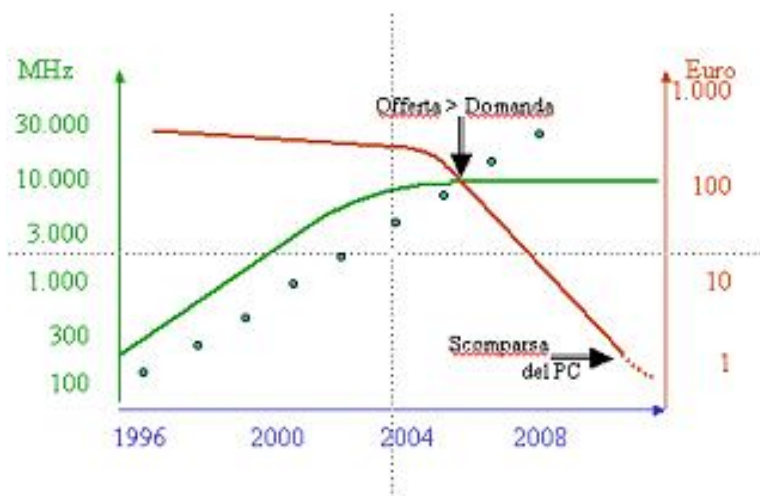


Figura 6.1: Andamento della capacità elaborativa, della domanda e dei prezzi.

singoli oggetti verranno quindi aumentate. Una cornice con relativo schermo sarà in grado di permettere il disegno o la manipolazione di immagini, un foglio di carta elettronica consentirà di scrivere, formattare il testo e controllarne l'ortografia, il videoregistratore consentirà di montare film che abbiamo appena registrato... La scomparsa del PC sarà, quindi, controbilanciata dal fatto che ogni oggetto diventerà, per alcune funzionalità, un PC! Se vogliamo un parallelo pensiamo all'orologio. Un

elemento che fino a 30 anni fa spingeva le persone a spendere “di più” per un orologio era la sua precisione. L’avvento dei primi orologi al quarzo sfruttava proprio la maggior precisione insita nel quarzo per crearsi uno spazio di mercato. Quando, verso la fine degli anni 80, la precisione è arrivata ad essere misurata in decimi di secondo al mese ha perso valore, non era più un elemento di differenziazione.

La disponibilità di micro motori a basso costo ha portato alla trasformazione degli orologi digitali in normali orologi a lancette recuperando quindi l’interfaccia originaria. Il chip che fa da orologio ha cominciato ad essere incorporato in molti oggetti ed oggi, praticamente, ogni oggetto che ha un computer all’interno fornisce anche l’ora esatta. In questo senso il chip che fa da orologio è scomparso ma allo stesso tempo possiamo dire che è diventato onnipresente.

6.2 Tecnologia “usa e getta”

La capacità elaborativa a costo zero (o quasi) ha anche un altro risvolto: molti oggetti avranno un costo talmente basso che si potrà pensare di “buttarli” una volta utilizzati. Gli esempi non mancano: le siringhe usa e getta, le macchine fotografiche. Ed ora anche i telefonini, come quello nella foto mostrata in Figura 6.2.



Figura 6.2: Telefonino usa e getta ideato dall'inventore americano Stephen Forshaw.

Un inventore americano, Stephen Forshaw, ha vinto il premio Sony per la migliore innovazione proponendo un telefonino usa e getta utilizzabile per effettuare una sola conversazione². Ha lo spessore e le dimensioni di una carta di credito e quindi si può mettere comodamente nel portafoglio. L'utilizzo previsto è quello di un uso come bigliettino di auguri che invita il ricevente a fare una chiamata per scambiare quattro chiacchiere. Anche il nome con cui è stato battezzato suggerisce questo uso: PS Call Me (ps chiamami!). Contiene un solo numero (impostabile da chi invia il bigliettino) e quindi un unico tasto per attivare la chiamata.

²<http://news.bbc.co.uk/hi/english/sci/tech/newsid-2006000/2006407.stm>

Consente anche di memorizzare un messaggio vocale che chi lo riceve può ascoltare.

Il costo? Intorno ai 10 euro. Non proprio economico ma neppure inaccessibile.



Figura 6.3: Per il 2005 si prevede di avere sul mercato anche computer fatti "di carta" capaci di assolvere ad una singola funzione.

Per il 2005 si prevede di avere sul mercato anche computer fatti "di carta" capaci di assolvere ad una singola funzione, magari scrivere un documento e trasmetterlo.

Dal punto di vista del mercato questo rappresenta una svolta importante. Diventa possibile associare un servizio ad un supporto che ne consente l'erogazione. Il cliente non paga più un prodotto

per poi poter utilizzare un servizio. Inoltre quest'associazione consente di particularizzare lo strumento, in questo caso il computer di carta, al servizio che viene erogato. Un modo intelligente per diminuire la complessità di uso.

Questa associazione potrebbe essere un elemento di disturbo per gli operatori di telecomunicazione in quanto il cliente non percepisce più l'esistenza di un operatore.

6.3 La prevalenza del servizio

Chi acquista un'ora di conversazione, magari per raggiungere informazioni turistiche, tramite un telefonino usa e getta non percepisce più l'esistenza dell'operatore di telecomunicazioni. Per lui l'interfaccia è il fornitore del servizio. Le telecomunicazioni diventano un elemento nascosto, così come quando acquistiamo un pacchetto turistico in un'agenzia viaggi non percepiamo più il vettore aereo come un nostro fornitore. Ben difficilmente nella prenotazione della settimana alle Maldive l'elemento di scelta sarà il vettore aereo che verrà utilizzato. Spesso, addirittura, l'agenzia non sarà neppure in grado di dirci chi sarà in quanto potrebbe essere deciso all'ultimo momento.

6.4 La crescita delle console

Un'altra conseguenza della legge di Moore è l'avvento delle console per video giochi. Queste, dopo una fase in cui hanno utilizzato chip "obsoleti" arrabattandosi a gestire giochi poveri in termini di grafica hanno raggiunto una tale fetta di mercato che è diventato conveniente progettare dei chip "dedicati". Siamo nella ultima parte degli anni 90. Il fatto di avere chip dedicati permette di avere delle prestazioni migliori del PC sotto il profilo della gestione della grafica e questo permette di sviluppare giochi molto più sofisticati. Inoltre le console nascono senza un video. Utilizzano quello del salotto, diverso dal monitor del PC da un punto di vista tecnico. Ma la chiave di volta non sta nella tecnologia ma ... nel salotto. La console viene messa e usata al centro della casa. Diventa quindi, per molti, come Sony e Microsoft, il punto da cui orchestrare il mercato dell'intrattenimento, non a caso abbiamo che le console forniscono anche il lettore DVD. E visto che i giochi possono essere anche portati on line³ queste stesse società possono diventare, in qualche modo, dei veri e propri operatori di telecomunicazioni⁴. Sony, IBM e

³Anzi, le case che producono i giochi vedono la possibilità di fruirli tramite rete come il sistema più adatto per evitare la pirateria, le copie illegali.

⁴http://www-1.ibm.com/services/insights/etr_grid.html

Butterfly⁵ si sono unite per creare una rete distribuita, sovrapposta alla rete di telecomunicazioni, in grado di servire oltre un milioni di giocatori in contemporanea, sul singolo gioco. Oggi packaging e rete distributiva rappresentano ancora un ostacolo (sono un forte elemento di costo) e quindi le case che posseggono i giochi sono disponibili ad accordi di esclusiva con gli operatori TLC. Questo potrebbe cambiare già nei prossimi due anni in quanto è chiaro che al decrescere dei costi in questi segmenti diminuisce l'interesse a stabilire rapporti di esclusività (più sono i canali distributivi che consentano a più clienti di accedere al mio prodotto, meglio è). Oggi, inoltre, l'innovazione tecnologica più forte nel settore della grafica arriva dalle console. La legge di Moore che tanto ha cambiato il mondo grazie alla sua velocità e alla durata viene ritenuta da alcuni attori che operano nel settore delle console come "troppo lenta". Sony prevede un incremento di capacità di circa 1000 volte nella elaborazione grafica entro i prossimi 3-4 anni. Per la legge di Moore ne sarebbero necessari quindici.

⁵www.butterfly.net

6.5 La società dell'informazione

Una ulteriore conseguenza indotta a livello sociale dal persistere della legge di Moore sarà una estensione della Società dell'Informazione sia nei paesi ricchi, sia in quelli in via di sviluppo. Nei paesi ricchi si sta toccando con mano come la curva di penetrazione dei PC e anche di collegamenti ad Internet sia in fase di livellamento⁶. Eppure non si è raggiunto il 100% della popolazione. L'elemento di blocco non è il prezzo (almeno nella stragrande maggioranza dei casi) ma l'abitudine culturale. Questo è destinato a cambiare con l'avvento delle nuove generazioni, specie se Internet diventa uno strumento di studio e apprendimento, ma per chi ha già 40 anni la svolta dovrebbe arrivare dall'inserimento dei PC in oggetti di uso comune. Il televisore sicuramente è destinato a giocare un ruolo di primo piano in termini di utilizzo, così come la game station (console) in termini di "imparare dai figli". La televisione in USA, secondo statistiche al gennaio

⁶In paesi come gli Stati Uniti addirittura sta scendendo il numero di persone collegate ad Internet. Questo è abbastanza normale e tipico di qualunque prodotto di massa che nella sua fase di massima espansione riesce ad attrarre anche persone che poi superato l'entusiasmo iniziale recedono sulle posizioni precedenti.

2002, sarebbe utilizzata in media per 1590 ore all'anno dalla famiglia americana media, contro le 40 ore di uso di Internet. Il portare le informazioni sul televisore e l'accesso sul telecomando è chiaro che apre un enorme segmento di mercato. Diventa quindi comprensibilmente strategico per le aziende di telecomunicazioni fare in modo di essere parte del canale distributivo su cui poggia la televisione. Nei paesi poveri l'ostacolo principale alla diffusione della società dell'informazione sono i costi. Anche qui troviamo la televisione come elemento quasi standard del paesaggio, in India come in Africa e Sud America. Tuttavia in questi paesi non è pensabile, perlomeno a breve, di poter utilizzare la televisione per accedere ad Internet. Diventa però possibile diffondere a strati sempre maggiori della popolazione da un lato dei PC a bassissimo costo e dall'altro dei web "portatili" che non richiedono quindi il sostenimento di costi di connessione. La legge di Moore, infatti, può cominciare a operare al contrario⁷. E questo capita nel momento in cui le prestazioni superano il livello di prestazioni richiesto, cioè verso il 2005-2006. Per il 2010

⁷Questo concetto è stato da diversi anni predicato da Nicholas Negroponte: anziché produrre un raddoppio di capacità elaborativa ogni 18 mesi teniamo costante la capacità elaborativa e dimezziamo i costi. Se questo fosse avvenuto, diciamo a partire dal 486, un chip con cui si potevano fare quasi tutte le cose che facciamo oggi, anche se con una grafica meno raffinata, oggi questo costerebbe circa 1 Euro.

dovremmo disporre di sistemi elaborativi ad un prezzo tale che anche settori considerevoli di mercato nei paesi in via di sviluppo potranno disporre.

Più difficile, invece, è prevedere un significativo aumento della capacità di connessione in questi paesi. Il costo delle infrastrutture è tale da frenare gli investimenti in presenza di una bassa capacità di spesa, tipica di queste parti del mondo. Oggi le aziende di telecomunicazioni nel terzo mondo tendono a investire di più nel mobile, sia per la obiettiva facilità della infrastruttura mobile rispetto alla fissa (dispiegamento e costi) sia perché questa risponde alle esigenze di un mercato che ha più soldi da spendere.

La difficoltà dell'accesso, tuttavia, può essere in parte superata dal progresso che la legge di Moore porta nel settore delle memorie. L'esistenza, possibile per il 2010, di supporti di memoria contenenti svariati TB di informazioni a costi bassissimi⁸ permette di immaginare una distribuzione di massa di questo tipo di carte (una volta all'anno...) e quindi consente a moltissime

⁸In Figura 6.4 un modello della tecnologia proposta dalla Thin Film svedese, <http://www.thinfilm.se/html/index.htm>, realizzato a livello prototipale. Questa utilizza dei polimeri per creare una memoria (non riscrivibile) che permetterà intorno al 2006, secondo le previsioni della ThinFilm, di contenere in una dimensione tipo carta di credito diversi TB di informazioni con un costo di produzione e del supporto di qualche euro.

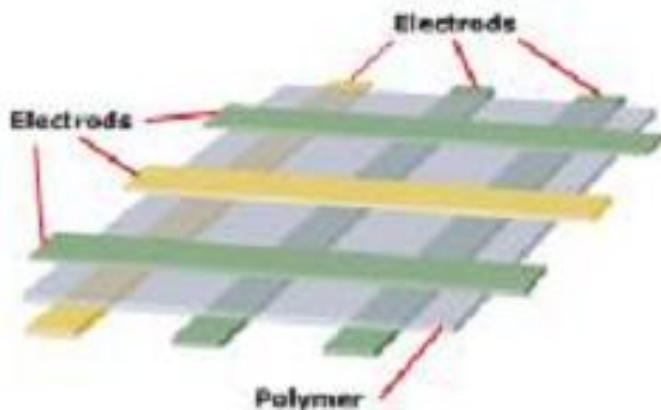


Figura 6.4: Tecnologia a polimeri sviluppata dalla Thin Film per immagazzinare TB di informazioni in pochi cm^2 .

persone di avere una fotografia di Internet abbastanza aggiornata. L'idea non è, credo, così peregrina come potrebbe sembrare di primo acchito.

In effetti la Net Archive Organization⁹ sta

⁹<http://www.archive.org/index.html>. Chi non avesse ancora provato a navigare su questo sito lo faccia subito. Credo che dal punto di vista concettuale sia la realizzazione di un sogno: il poter navigare nel tempo. La Wayback Machine associata

raccogliendo giorno per giorno tutte le informazioni (o almeno una gran parte) che vengono pubblicate su Internet. Non diventa impossibile immaginare tra qualche anno un processo in cui queste informazioni, congelate ad una certa data, vengono scaricate su delle memorie plastiche in formato carta di credito e distribuite a centinaia di milioni di persone.

Vero, non vi sarebbe il tempo reale ma non scordiamoci che il mondo è cambiato radicalmente a seguito di un certo Gutemberg e della sua pressa a Norimberga. Forniva informazioni a basso prezzo e poco è importato che queste non potessero essere fruite in tempo reale....

al sito permette infatti, una volta trovata la pagina a cui si è interessati, di navigare in Internet così come questa era nel momento in cui quella particolare pagina è stata creata.

Catalogo Apogeo – luglio 2002



Flash Xbox

di Viscardi Rosario

Pagine: 240

Euro: 7,9

Xbox: oltre i videogiochi, verso il mondo del multimedia, di Internet e del lavoro. Una guida preziosa a tutti i segreti della console Microsoft.



XML Guida Completa

di Devan Shepherd

Pagine: 496

Euro: 34

Dalla sintassi di base fino allo sviluppo di applicazione complete, un tutorial per apprendere i segreti del linguaggio XML in 21 giorni.



Red Hat Linux 7.3 Flash

di Georges Piriou

Pagine: 264

Euro: 7,9

Un manuale tascabile sul sistema operativo libero ideato da Linus Torvalds nella distribuzione Red Hat 7.3.



Object Oriented Programming Guida Completa

di Anthony Sintes

Pagine: 576

Euro: 35,9

Dall'introduzione della programmazione orientata agli oggetti alla presentazione di case study di analisi, progetti e implementazioni.



AutoCAD LT 2002 Guida all'uso

di Ralph Grabowski

Pagine: 320

Euro: 25

La guida all'ultima versione di AutoCAD a cura di Ralph Grabowski, autore dei manuali più venduti nel mondo sul più famoso prodotto per il CAD.



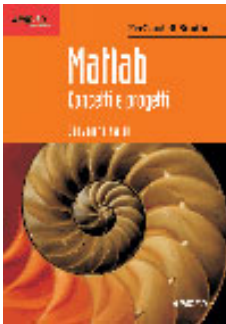
Visual Basic .Net Flash

di Marisa Padovani

Pagine: 216

Euro: 7,9

Un piccolo manuale per avere in tasca tutte le informazioni fondamentali su Visual Basic .Net, strutturate secondo brevi lezioni da 10 minuti ciascuna.



Matlab Concetti e progetti

di Naldi Giovanni, Pareschi Lorenzo

Pagine: 360

Euro: 22

Una introduzione all'uso del software MATLAB come ambiente particolarmente adatto per avvicinarsi al mondo del calcolo scientifico e alle simulazioni numeriche di modelli matematici.



Flash MX Guida all'uso

di M. Mattioli

Pagine: 384

Euro: 25

Come fare dell'animazione la chiave vincente dei propri siti Web. Dalle proprietà di base di Flash ad alcuni elementi di programmazione con ActionScript, il libro affronta tutti gli aspetti più importanti del software.

Catalogo Apogeo – giugno 2002



Visual Basic .Net Tutto & Oltre

di Paul Kimmel

Pagine: 600

Euro: 39,9

Come costruire applicazioni distribuite e creare servizi con VB .NET: un manuale indispensabile per il programmatore.



Introduzione alla Macroeconomia

di Kennedy Peter

Pagine: 512

Euro: 30

Un'introduzione, non tecnica ma rigorosa, alla macroeconomia per gli studenti di facoltà universitarie e di corsi post-laurea e per tutti gli interessati a comprendere meglio il funzionamento delle economie in cui viviamo.



Mobile Business

di R. Kalakota, M. Robinson

Pagine: 320

Euro: 23

Diventa sempre più facile e relativamente poco costoso accedere a servizi diversi mediante dispositivi mobili di comunicazione, come cellulari e palmari. Quali sono le prospettive e le opportunità di business?



Strumenti quantitativi per la gestione aziendale

di Waner, Costenoble

Pagine: 360

Euro: 23

La soluzione ideale per l'insegnamento della matematica nelle lauree triennali di Scienze dell'Economia e della Gestione Aziendale.



Fondamenti di telecomunicazioni

di Leon W. Couch

Pagine: 768

Euro: 44

Testo di riferimento per acquisire le competenze fondamentali riguardo ai sistemi di telecomunicazione che ogni professionista del settore dell'Ingegneria e delle Scienze dell'Informazione deve possedere.



Computer per tutti V edizione

di Enzo Amato

Pagine: 224

Euro: 16,9

Il computer incute ancora timore? Un manuale davvero per tutti per avvicinarsi al mondo della tecnologia e imparare a usarla al meglio.



JavaScript la guida II edizione

di David Flanagan

Pagine: 816

Euro: 44,9

Dal nucleo del linguaggio fino alla creazione di esempi sofisticati, una guida di riferimento essenziale per il programmatore Javascript.



Content Management

di Lucchini (a cura di)

Pagine: 420

Euro: 23

Da un master dell'Ateneo Multimediale di Milano, un percorso formativo per quanti devono assolvere alle funzioni di content management.



C# Tutto & Oltre
di Joseph Mayo
Pagine: 672
Euro: 44,9

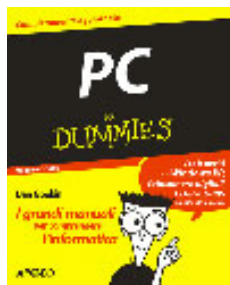
Un testo fondamentale, in grado di mostrare come C# possa essere usato per sviluppare del software come servizio, concetto che sta alla base della suite .NET

Catalogo Apogeo – maggio 2002



ECDL Modulo 4: Foglio elettronico
di Rubini
Pagine: 144
Euro: 9,8

Dal syllabus originale per la patente europea del computer, il modulo 4: Foglio elettronico.



PC For Dummies
di Dan Gookin
Pagine: 320
Euro: 18,9

Un modo facile per avvicinarsi al mondo del computer, con gli ultimi aggiornamenti alla più recente versione di Windows, la XP, i virus, i DVD.



ECDL Modulo 3: Elaborazione testi

di Rubini

Pagine: 144

Euro: 9,8

Dal syllabus originale per la patente europea del computer, il modulo 3: Elaborazione testi.



Thinking in Java

di Bruce Eckel

Pagine: 768

Euro: 45

Thinking in Java è considerato uno dei testi più autorevoli e al tempo stesso più originali e stimolanti sul linguaggio di programmazione Java.



ECDL Modulo 5: Basi di dati di Rubini

Pagine: 144

Euro: 9,8

Dal syllabus originale per la patente europea del computer, il modulo 5: Basi di dati.



ECDL Modulo 6: Strumenti di presentazione

di Rubini

Pagine: 144

Euro: 9,8

Dal syllabus originale per la patente europea del computer, il modulo 6: Strumenti di presentazione.



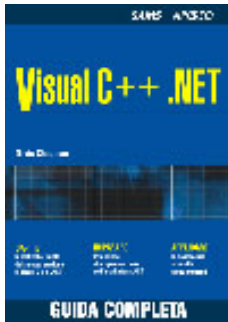
AutoCAD 2002 Guida Completa

di Ralph Grabowski

Pagine: 840

Euro: 44

La terza edizione per il mercato italiano di uno dei più autorevoli testi su AutoCAD, curato da Ralph Grabowski, uno degli autori più noti ed esperti del settore.



Visual C++ .NET Guida Completa

di Davis Chapman

Pagine: 704

Euro: 44,9

Progettare finestre d'applicazione, utilizzare i controlli, visualizzare elementi grafici, creare applicazioni SDI e MDI, lavorare con i database e costruire applicazioni multitasking con Visual C++ .NET.



C# Guida Completa

di Bradley L. Jones

Pagine: 672

Euro: 35,9

Il modo migliore per acquisire le tecniche avanzate della programmazione con C# come lo sviluppo di applicazioni in ambiente Windows e la creazione di Web form e Web service.



Internet Explorer 6 Flash

di R. Viscardi

Pagine: 240

Euro: 7,9

Internet Explorer 6 in versione tascabile. Nel consueto formato agile e veloce della collana Flash, tutte le informazioni che servono per scoprire il nuovo browser targato Microsoft, incorporato nel sistema operativo Windows XP



[Access 2002 Guida Completa](#)
di Paul Cassel, Craig Eddy, Jon Price
Pagine: 608
Euro: 39,9

Strutturare un database, creare tabelle, report, maschere e query, interfacciarsi con il Web attraverso ASP, conoscere il linguaggio SQL, verificare la sicurezza dei dati.



[Audio e multimedia](#)
di Lombardo, Valle
Pagine: 408
Euro: 26

Il mondo dell'audio nel contesto più ampio della comunicazione multimediale, dalla rielaborazione del suono al protocollo MIDI. Un testo tecnico per chi studia o lavora nel campo multimediale.



Segui l'informazione

Internet, computer, tecnologia e scienza: Apogeeonline è notizie, informazione, cultura dal mondo digitale. Migliaia di pagine dai contenuti assolutamente di frontiera, articoli e approfondimenti a cura di professionisti, ebook gratuiti sugli argomenti più innovativi, tutto il catalogo Apogee ricercabile online. Iscriviti alla newsletter gratuita di Apogeeonline e resta aggiornato sulle novità, gli eventi e il futuro dell'universo ICT, tutti giorni nella tua casella email.

www.apogeeonline.com
La prima webzine di informatica in Italia