

Fisica dei Dispositivi Elettronici

- Docente: *Angela Maria Mezzasalma*
- Dipartimento di Fisica della Materia e
Tecnologie Fisiche Avanzate
(studio: I piano corpo D)
- tel. 090 676-5090
- e-mail: mezzasalma@unime.it

Orario Lezioni

- Mar 14.00 - 16.00 Gio 11.00 - 13.00
- Da Martedì 8 Marzo 2005
- Circa 23/25 lezioni
- Previste no. 2 prove intermedie
- Termine previsto delle lezioni ~10 Giugno 2004
- Aula I, Facoltà
- Testi consigliati:
 - S. Sze "Dispositivi a semiconduttore", ed. Hoepli
 - G. Ghione "Dispositivi per la microelettronica", ed. McGraw-Hill
 - G. Maserà, C. Naldi, G. Piccinini "Introduzione all'analisi dei dispositivi a semiconduttore" ed. Hoepli (ESERCIZI)

FISICA DISPOSITIVI ELETTRONICI

argomenti del corso

- Cenni di Fisica moderna:
 - Fotoni e onde di materia, atomi, solidi
- Semiconduttori: proprietà elettroniche
 - Struttura cristallina, bande di energia, densità degli stati
 - Livello di Fermi, elettroni e buche, concentrazione di portatori
- Trasporto elettrico
 - conducibilità elettrica, mobilità, diffusione
 - generazione-ricombinazione
- Giunzioni e interfacce
 - giunzione p-n, diodo, caratteristiche corrente-tensione
 - giunzione metallo-semiconduttore
- Dispositivi a semiconduttore
 - bipolari: transistor a giunzione (BJT)
 - unipolari: transistor a effetto campo (MESFET, MOSFET)
 - optoelettronici: emettitori di luce (LED, laser), rivelatori
- Materiali e tecnologie di processo in microelettronica
 - Crescita del cristallo
 - Ossidazione e deposizione film
 - Diffusione e impiantazione ionica

Cenni Storici



Nel **1874**, **Ferdinand Braun**, uno scienziato tedesco, scopre che i cristalli possono condurre corrente elettrica in una direzione, in certe condizioni. Questo fenomeno viene chiamato **rettificazione**.



Guglielmo Marconi

Nel **1895**, **Guglielmo Marconi** mette a punto un sistema di comunicazione basata sui segnali radio, utilizzando una nuova tecnologia inventata da Nikola Tesla. Fu l'inizio delle **comunicazioni wireless**. Rivelatori a cristallo furono usati nei ricevitori radio, realizzando la separazione tra il segnale di onda portante ed la parte di segnale contenente l'informazione.

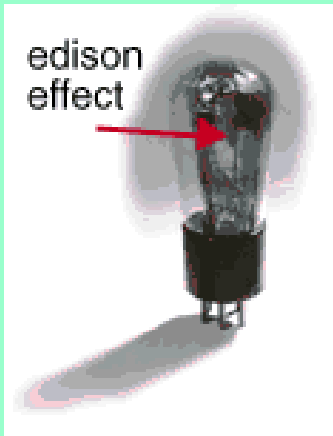
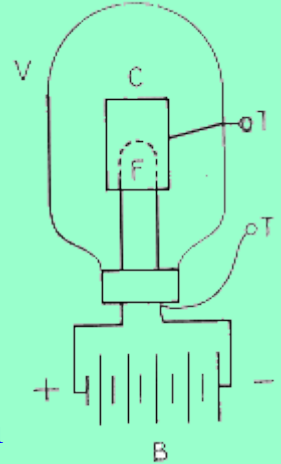
Valvola di Fleming: tubo a vuoto rettificante



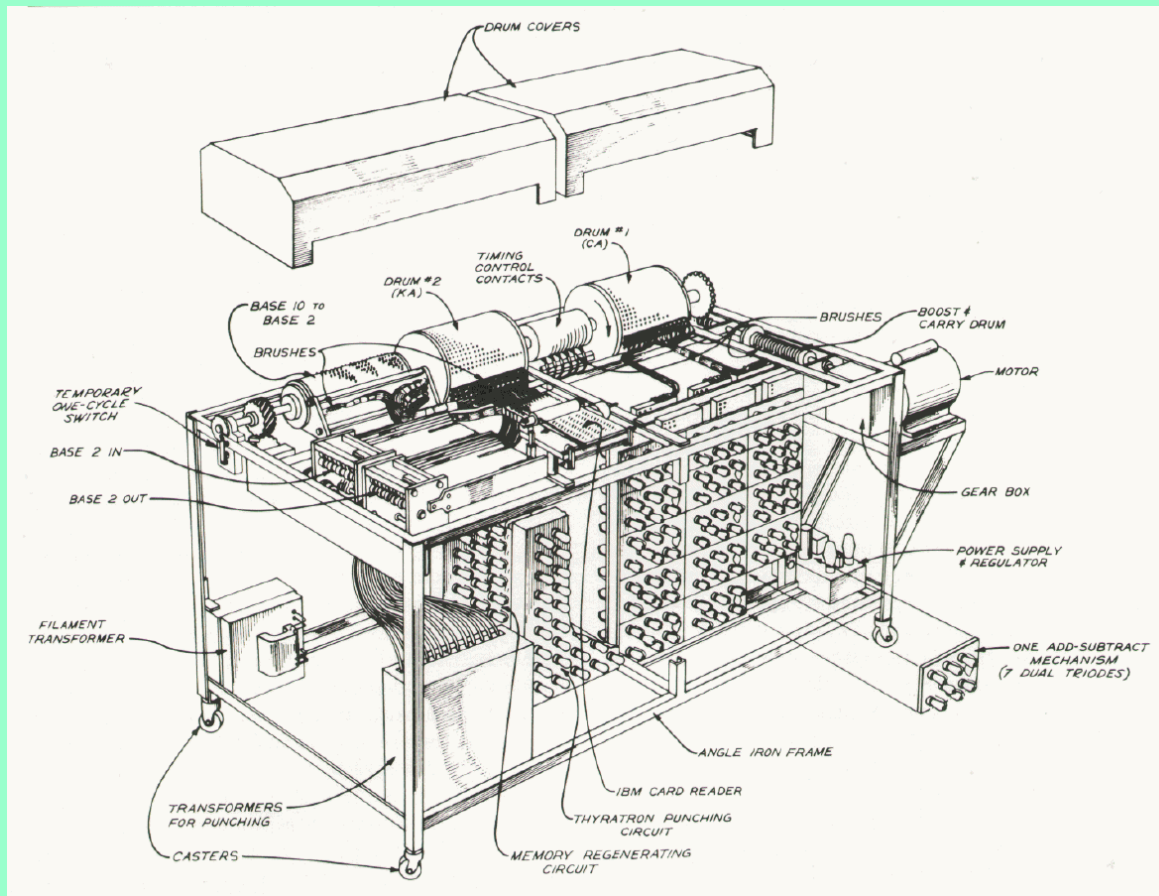
Nel **1904**, **John Ambrose Fleming**, un fisico inglese, progettò il primo tubo elettronico noto come "**Valvola di Fleming**".

All'inizio del **1910**, migliorò la ricezione dei segnali sulla base delle sue ricerche su "l'effetto Edison", Fleming collegò un bulbo ad incandescenza con due elettrodi (T) ad un sistema ricevente.

In questo modo fu possibile **rettificare il debole segnale in arrivo in una variazione di corrente più facilmente rilevabile.**



Il primo computer: Atanasoff Computer



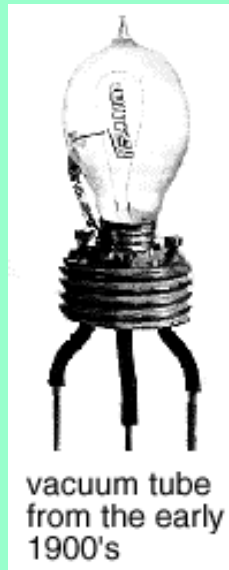
Il primo computer fu inventato da Atanasoff e dal suo studente Berry presso la Iowa State College sul finire degli anni '30 e costruito da Atanasoff e Berry nei primi anni '40.

ENIAC: il Computer a Valvole da vuoto

Fu sviluppato presso l'Università della Pennsylvania il computer ENIAC, basato su migliaia di valvole da vuoto (**18,000**), ed occupava diverse grandi stanze consumando la potenza sufficiente per illuminare dieci case. Le valvole a tubo catodico sviluppavano un grande calore e spesso si "bruciavano". L'involucro in vetro era fragile e voluminoso.

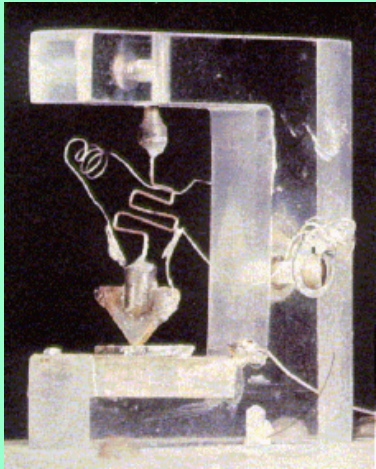


man changing one of 18,000 tubes



1947

Il Primo Transistor



1947

il 1° transistor
AT&T Bell Lab

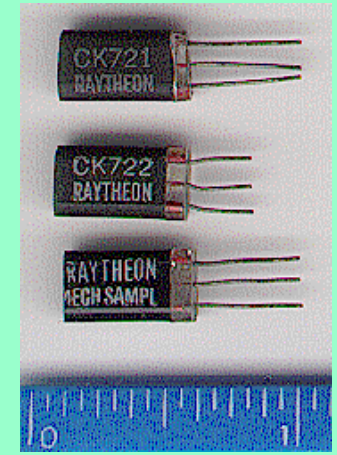


i 3 inventori (John Bardeen,
Walter Brattain, e
William Shockley) presero il
premio Nobel



il 1° transistor al Si
realizzato da Gordon
Teal alla Texas
Instruments nel
1954

il 1° transistor
commerciale
Raytheon CK722,
1953
Transistor pnp al Ge e
di bassa potenza



Il primo Circuito Integrato

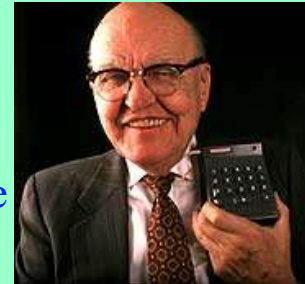


1958, Jack Kilby,
Texas Instrument



Circuito Integrato (IC):

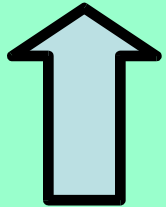
un grande numero di componenti singoli (transistor, resistenze, condensatori, ecc.) realizzati uno accanto all'altro su un substrato comune e connessi per realizzare una particolare funzione circuitale.



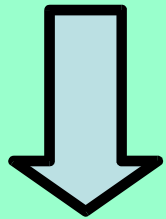
Nel **1962**, Steven Hofstein e Fredric Heiman presso i laboratori della RCA a Princeton, New Jersey, inventarono una nuova famiglia di dispositivi denominati *transistor ad effetto campo metallo-ossido-semiconduttore* (metal-oxide semiconductor *field-effect transistors* (**MOSFET** in breve). Benchè questi transistor fossero un po più “lenti” dei bipolari erano più economici, più piccoli ed assorbivano meno potenza. Interessante anche la possibilità di utilizzare le strutture metallo-ossido-semiconduttore come condensatori o resistenze.

Legge di Moore

□ Gordon Moore: co-fondatore di Intel



• “Il numero di componenti per unità di area raddoppia ogni due anni.”



● La riduzione di dimensioni permette l'aumento della complessità.

	No. di dispositivi
SSI (Small scale IC)	1 ~ 100
MSI (Medium scale IC)	$10^2 \sim 10^3$
LSI (Large scale IC)	$10^3 \sim 10^5$
VLSI (Very Large scale IC)	$10^5 \sim 10^6$
ULSI (Ultra Large scale IC)	$10^6 \sim 10^9$
GSI (Giga scale integration)	$10^9 \sim$

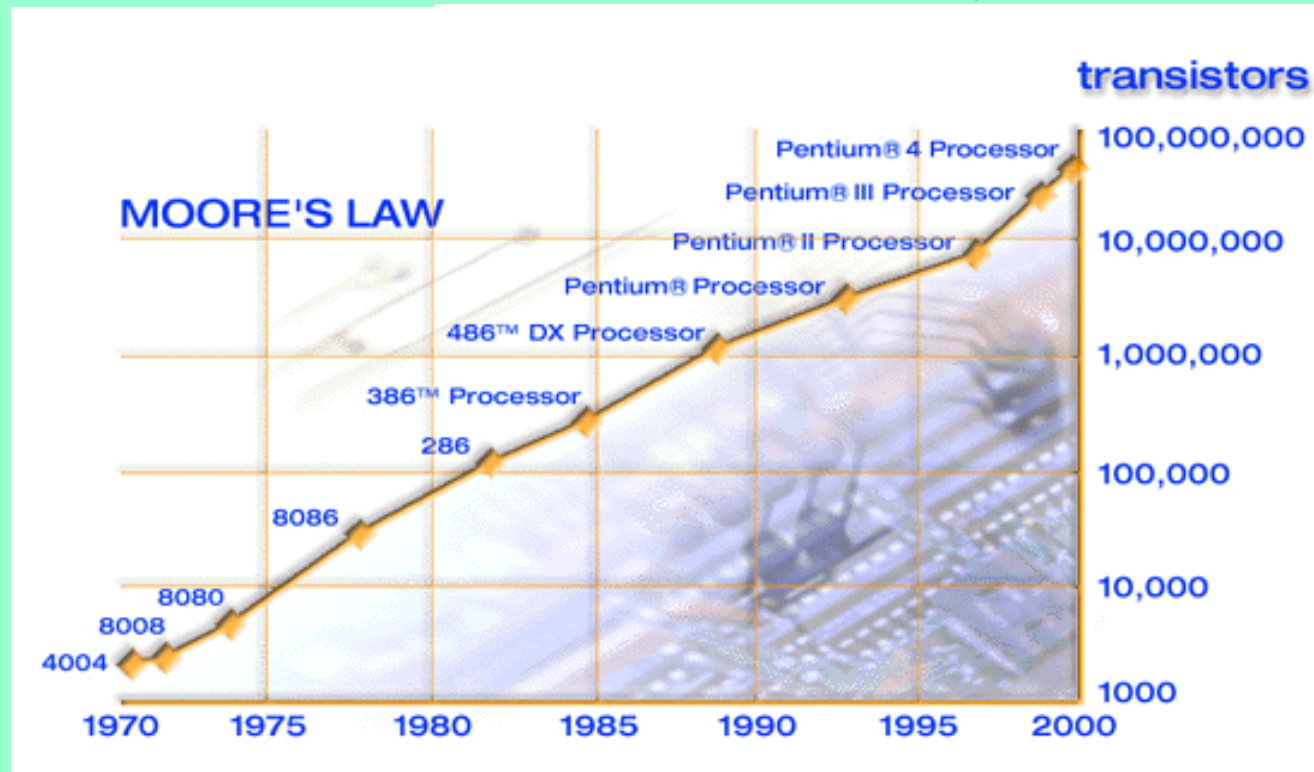
Storia degli IC: Crescita di complessità

processori
Intel Pentium 4
3.2 GHz



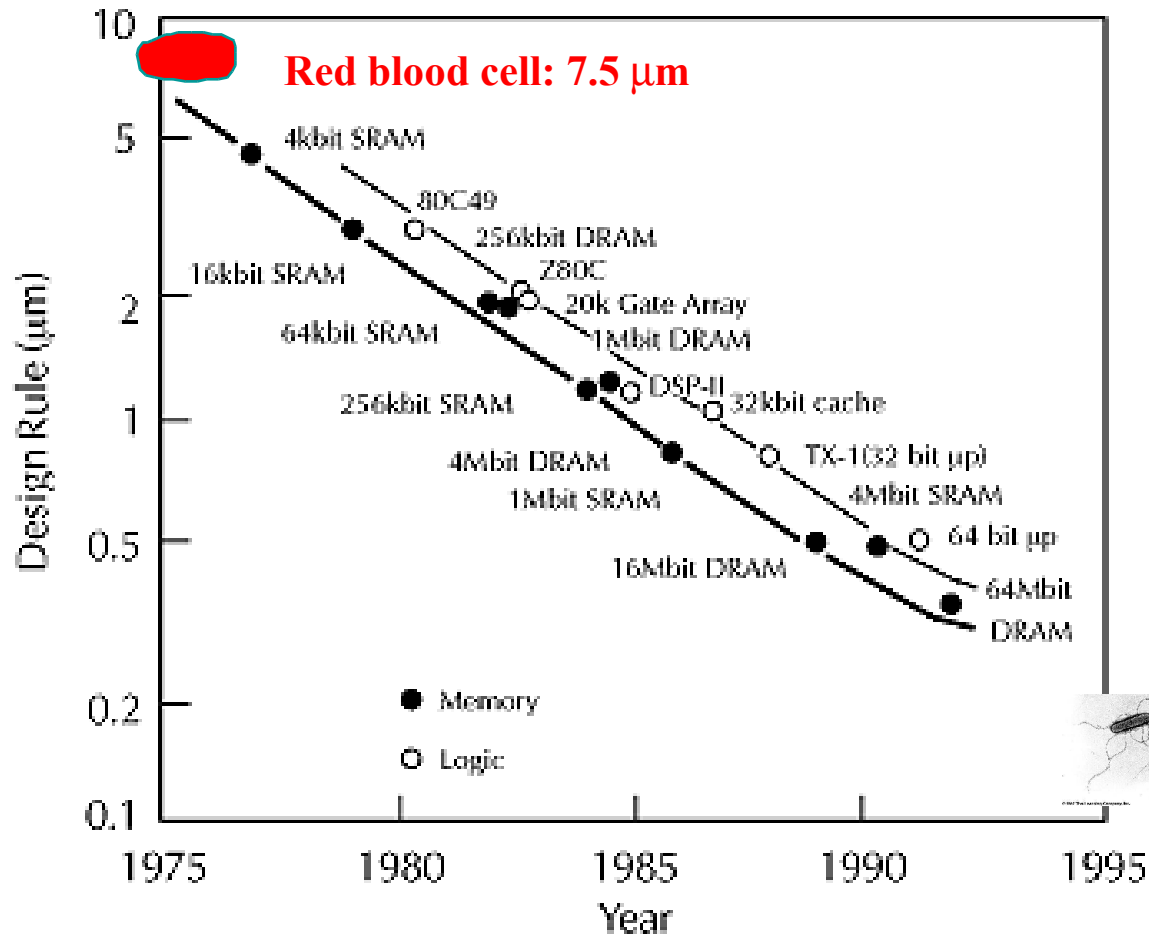
tecnologia a 0.13 μm

no. transistor:
oltre 54 milioni di
transistor



IBM annunciò nel **Giugno 2001** che aveva creato il transistor al silicio più veloce al mondo, e che la nuova tecnologia era in grado di pilotare i nuovi chip per le comunicazioni alla incredibile velocità di **100 gigahertz** entro due anni. IBM riportò che il suo approccio utilizzava una combinazione di **silicio e germanio** per realizzare transistor ultra-sottili per velocizzare il passaggio di informazioni, utilizzando una potenza elettrica ancora più ridotta rispetto alla presente tecnologia. Indiscrezioni suggerivano che si potessero raggiungere velocità di 210 GHz utilizzando solo un milliampere di corrente elettrica.

Storia degli IC: Riduzione dimensioni



dimensione minima (richiesta di progetto):

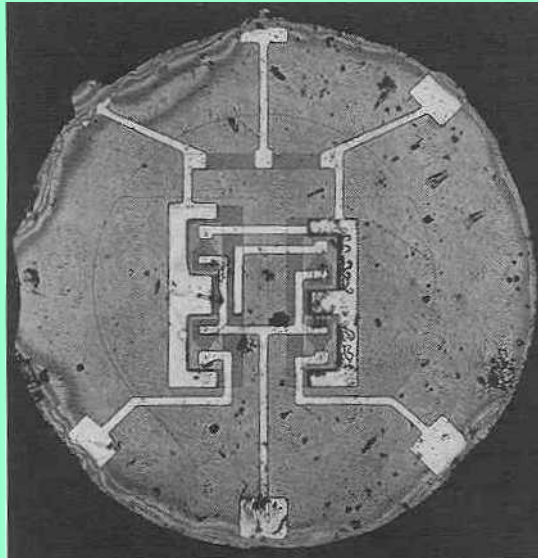
4Gb DRAM \Rightarrow $0.13 \mu\text{m}$

Intel Pentium IV, 3.2 GHz \Rightarrow $0.13 \mu\text{m}$

Batteri: $\sim 0.1 \mu\text{m}$



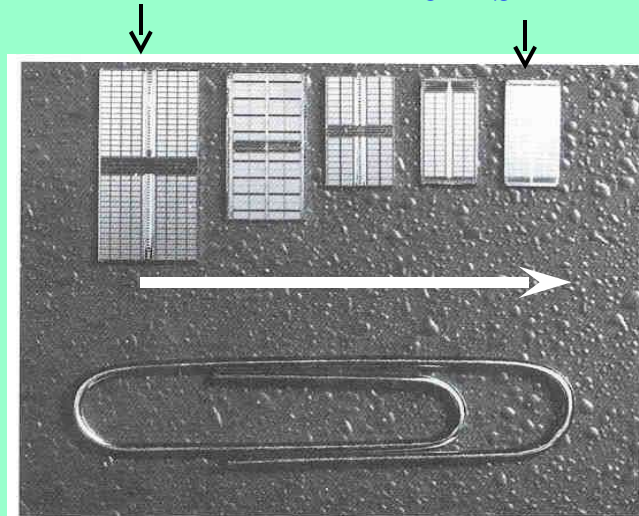
Piccolo è meglio !



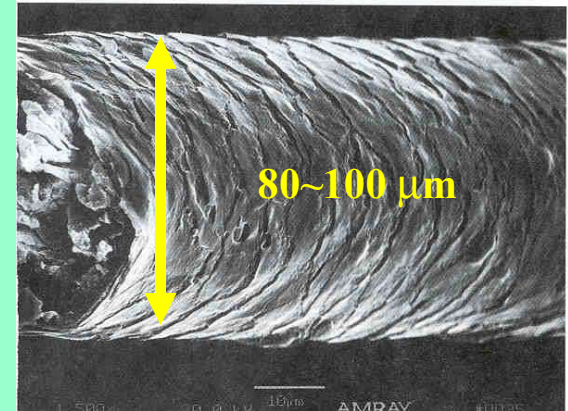
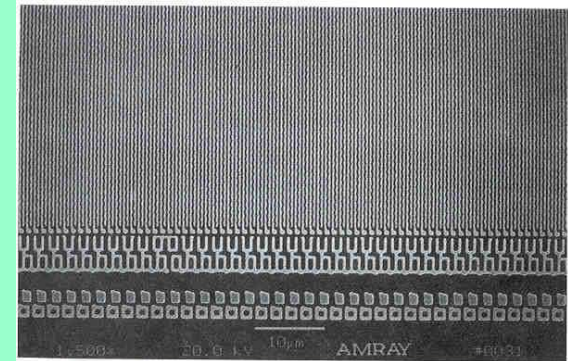
Primi IC (anni 60')
4 transistor e diverse
resistenze

**Prima
generazione
16 Mb DRAM**

**Successiva
generazione
16 Mb DRAM**



**Graffetta per carta
e 16 Mb DRAM**

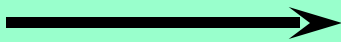


**piste da 0.18 μm
in 64 Mb DRAM
e capello umano**

Più grande (il wafer) è meglio !

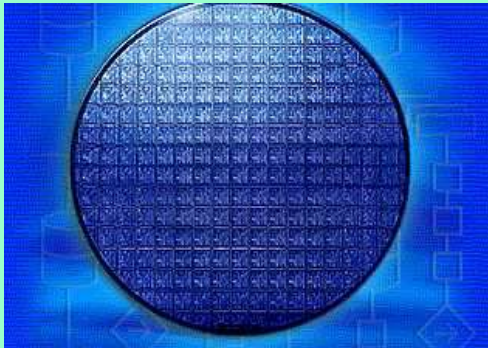


2" dia.

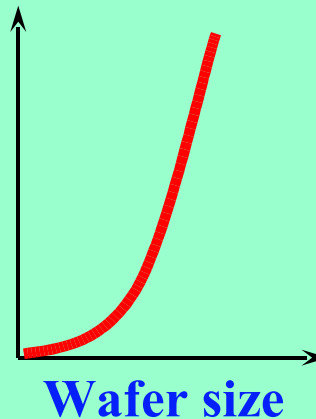


12" dia.

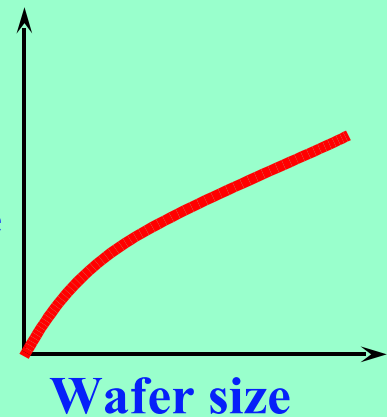
12" pizza



di
dies



costi di
produzione

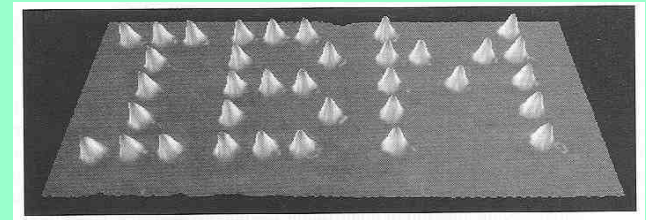
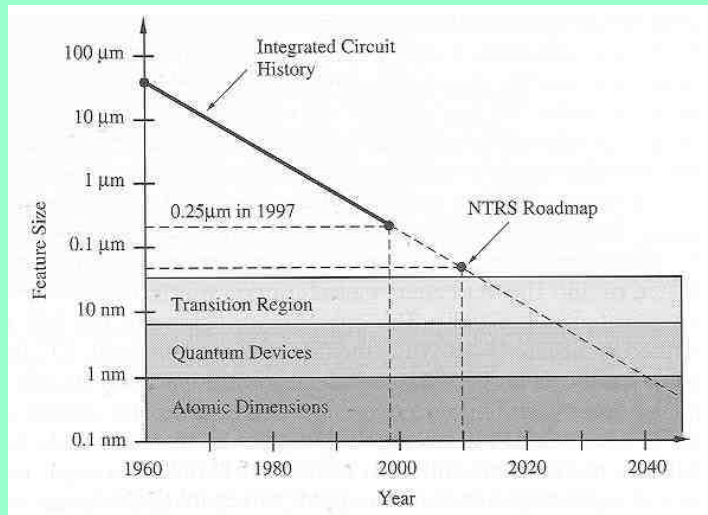


ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)

	1997	1999	2001	2003	2006	2009	2012
DRAM (half-pitch)	0.25 μ	0.18 μ	0.15 μ	0.13 μ	0.10 μ	0.07 μ	0.05 μ
MPU (gate length)	0.20 μ	0.14 μ	0.12 μ	0.10 μ	0.07 μ	0.05 μ	0.035 μ
DRAMs Samples	256-Mbit	1-Gbit	-----	4-Gbit	16-Gbit	64-Gbit	256-Gbit
Logic transistors/cm²							
MPUs	3.7 M	6.2 M	10 M	18 M	39 M	84 M	180 M
ASICs	8 M	14 M	16 M	24 M	40 M	64 M	100 M
Voltage (V)	1.8-2.5	1.5-1.8	1.2-1.5	1.2-1.5	0.9-1.2	0.6-0.9	0.5-0.6
Wafer size (mm)	200 (8")	300 (12")	300	300	300	450 (18")	450

Sorgente: http://public.itrs.net/files/1999_SIA_Roadmap/Home.htm

ITRS Roadmap: oltre il CMOS



atomi di Xe posti uno accanto all'altro sulla superficie di un **cristallo singolo di Ni**.

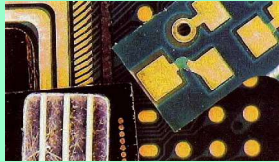
oltre il CMOS: Cosa c'è dopo ? **Dispositivi quantistici (QD) ?**

Le strutture a semiconduttore saranno ben presto affette da problemi legati alla fluttuazioni del drogaggio ed al "rumore" da particelle così come effetti quantomeccanici come la discretizzazione degli stati ed il tunneling.

I dot (punti) quantici (QD) non si trovano sulla roadmap ITRS, poichè è focalizzata sul silicio.

Comunque, per i QD si prevedono applicazioni nel breve termine come generatori e rivelatori nel lontano infrarosso con altre tipologie di materiali.

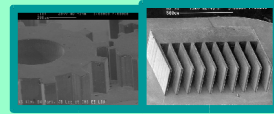
Elettronica e Natura



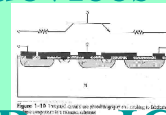
PCB



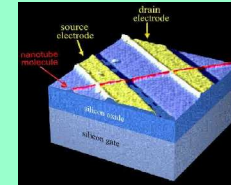
Diced chip



MEMS devices



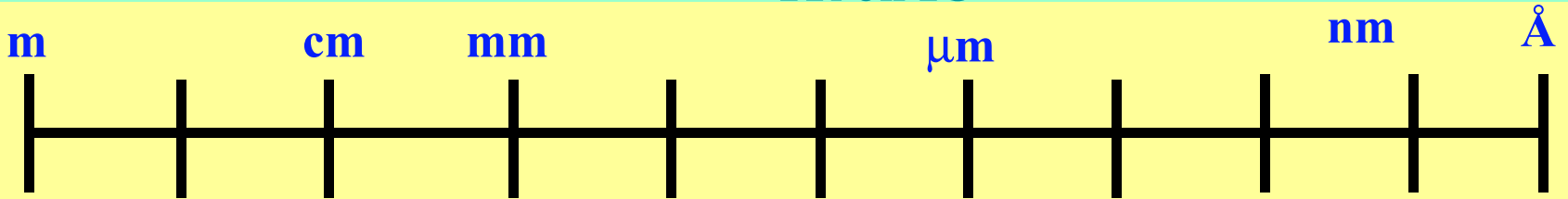
TR on IC



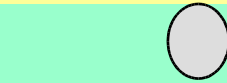
Nanotube FET



Nano manipulation



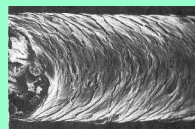
uomo:
~ 2 m



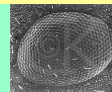
granello sabbia:
~ 1 mm



formica: ~ 5mm



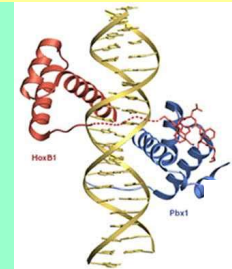
capello: ~
100 μm



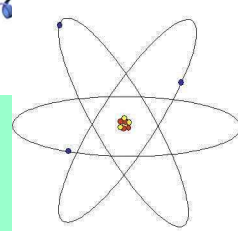
segmento occhio
formica: ~ 5 μm



Batterio:
~ 0.1 μm



DNA:
~ nm



Atomo:
~ Å