

# La fisica computazionale

(ovvero: l'interscambio fra l'informatica e la fisica, studio della natura)



Alessandro De Angelis

Univ. di Udine e INFN Trieste

[www.ud.infn.it/~deangeli](http://www.ud.infn.it/~deangeli)

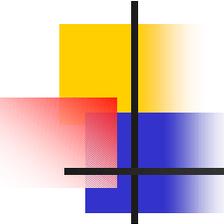
[wwwinfo.cern.ch/~deangeli](http://wwwinfo.cern.ch/~deangeli)

Trieste, giugno 2001

# Laurea Specialistica in Fisica Computazionale

- A ottobre parte a Udine il Corso di Laurea Specialistica in Fisica Computazionale
  - Durata biennale
  - Possono iscriversi i laureati triennali e quadriennali in discipline scientifiche
- Collaborazione tra le Università della regione (SISSA, Trieste, Udine)
  - Fisica a Udine: Astroparticle, Fisica agli Acceleratori, Meteorologia, Sistemi Complessi
  - Sinergia tra Fisica e Informatica a Udine
    - 80 docenti e 200 matricole di Informatica
    - Tradizione ventennale di ricerca
  - Posizione centrale e bacino ricco d'industrie a alta caratterizzazione tecnologica

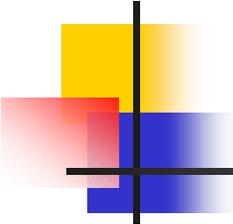




## La fisica e l'informatica

---

- L'interplay tra fisica e matematica che tanto ha giovato alla comprensione della natura nei secoli scorsi ha oggi un terzo attore: l'informatica
- L'informatica espande le potenzialita' della fisica; la fisica aiuta a costruire strumenti informatici piu' potenti
  - Ma anche paradigmi del pensiero e logiche piu' potenti: il quantum computing estende le frontiere del calcolabile e del fattibile



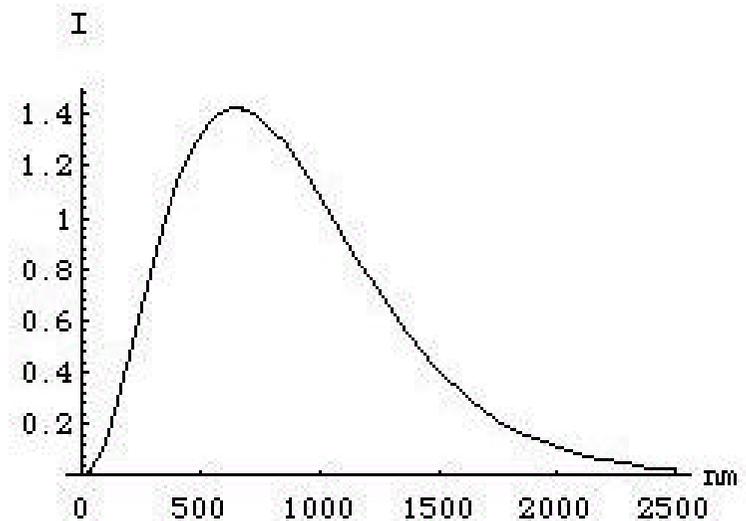
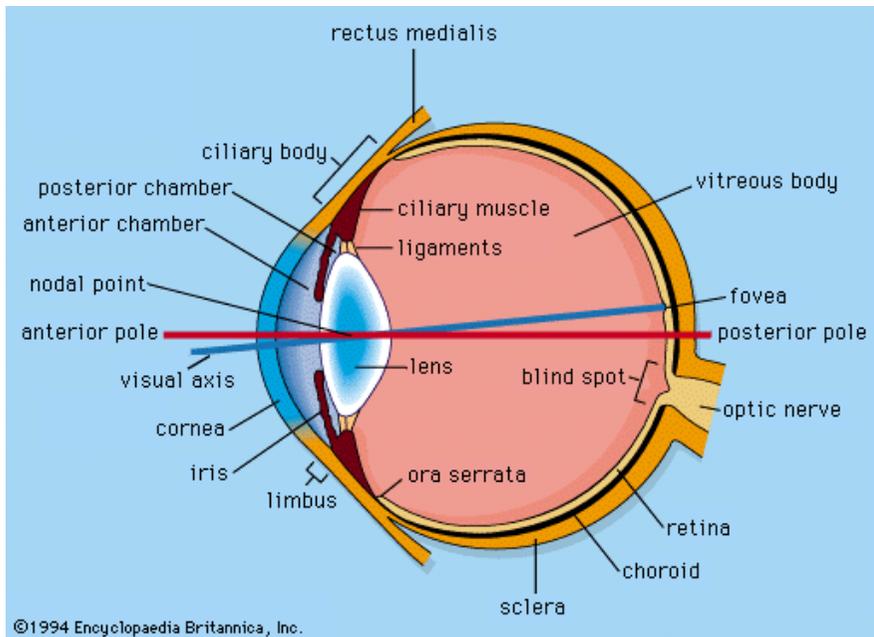
# L'informatica aiuta la fisica

---

- Estende la nostra visione dell'universo in varie direzioni
  - Il molto grande e il molto piccolo
  - L'osservazione di lunghezze d'onda alle quali siamo ciechi
  - I sistemi che variano molto rapidamente
  - I sistemi molto complessi

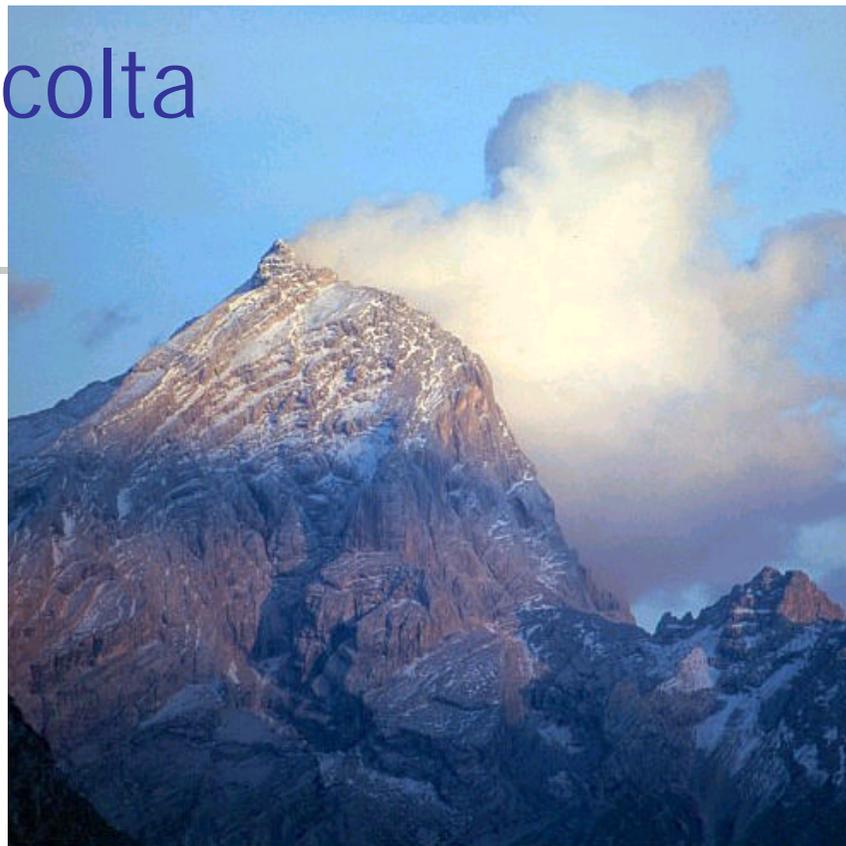
# La conoscenza

- La fisica costruisce modelli che spiegano la natura (o meglio le nostre osservazioni della natura, o meglio ancora le osservazioni della nostra interazione con la natura)
- Conosciamo il mondo principalmente attraverso i nostri occhi, sensibili a una banda di frequenze centrata sulla frequenza di emissione del sole



## L'informazione raccolta dai nostri occhi

- Ci ha consentito di vivere in una natura ostile
- Ci da' piacere, ci fa sentire parte dell'universo
- **E' lenta, limitata, incompleta**
- Negli ultimi secoli assistiamo a un'accelerazione della scienza (della storia)
- Valutiamo piu' informazione, piu' velocemente
- Questo si riflette sul modo in cui acquisiamo ed elaboriamo informazione, nel piccolissimo come su scale cosmologiche



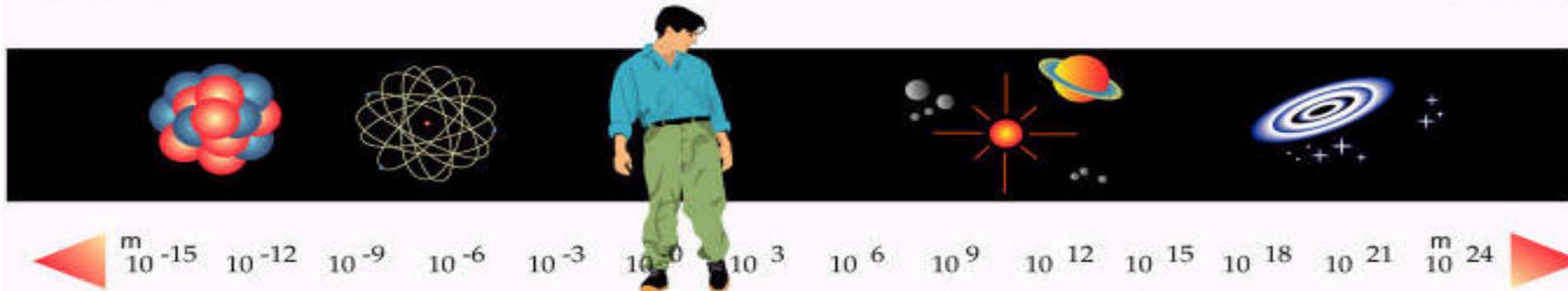
# I due versi della conoscenza

La physique des particules étudie la matière dans ses dimensions les plus petites.

Particle physics looks at matter in its smallest dimensions.

L'astrophysique étudie la matière dans ses dimensions les plus grandes.

Astrophysics looks at matter in its largest dimensions.



Microscopes  
Microscopes

Jumelles  
Binoculars

Telescopes optiques & radio  
Optical & radio telescopes

Accélérateurs  
et détecteurs  
Accelerators  
and detectors

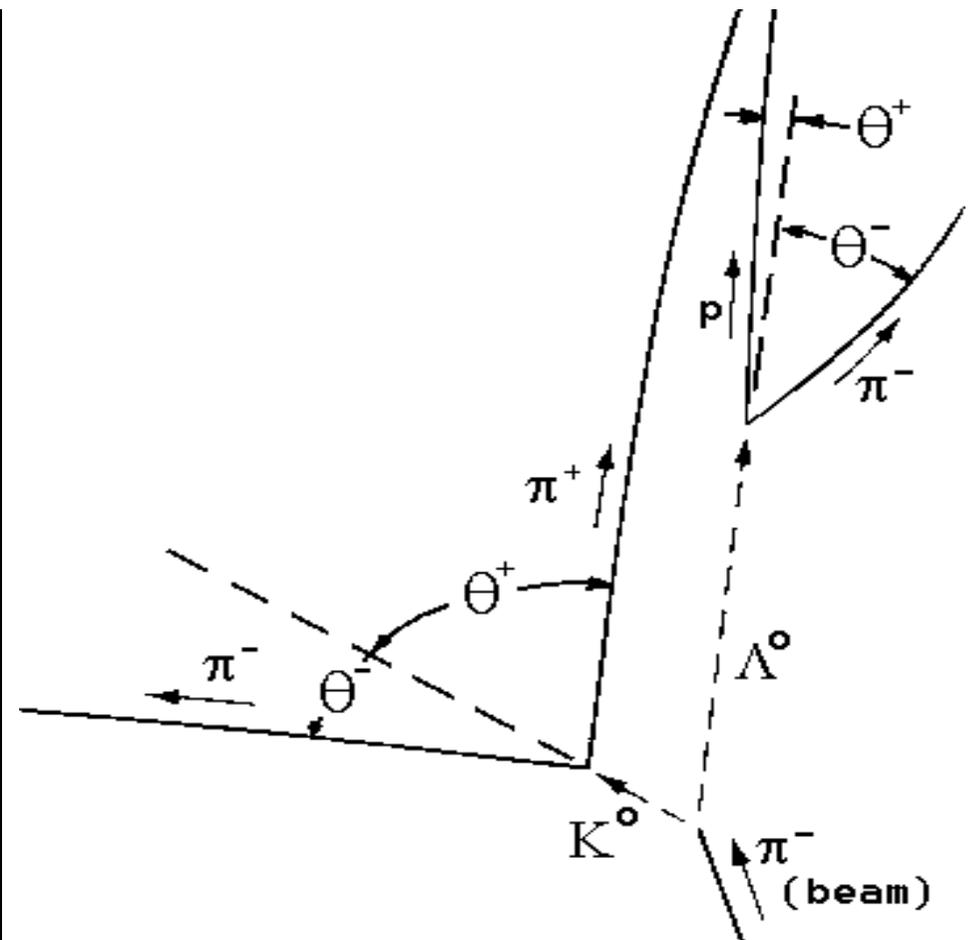
L'œil nu.  
Naked eye

## THE TWO FRONTIERS OF PHYSICS

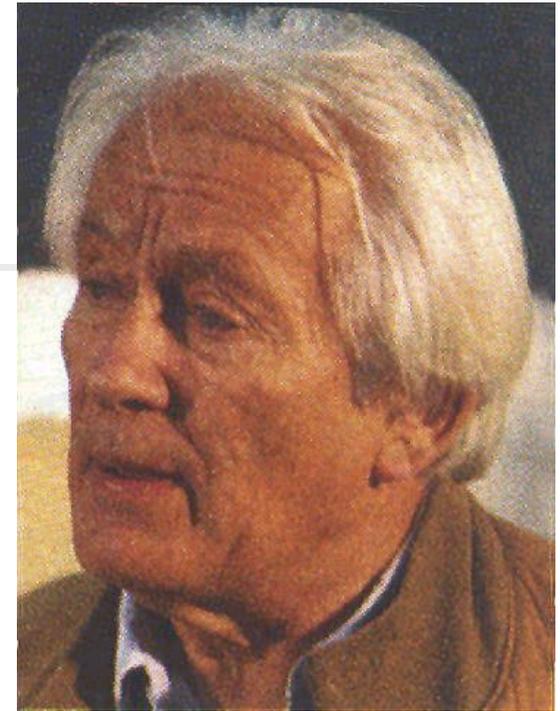
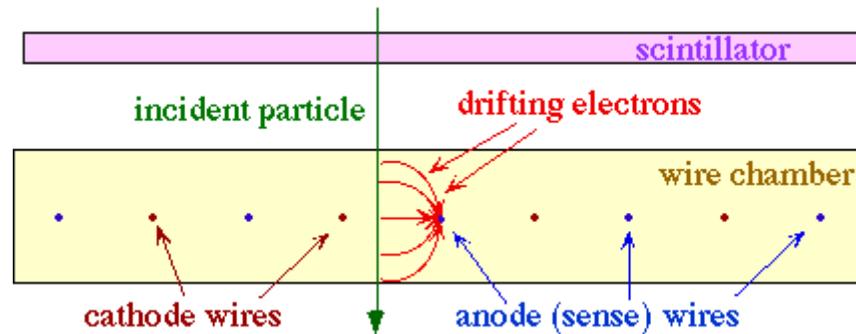
## LES DEUX FRONTIÈRES DE LA PHYSIQUE

# La fisica dei costituenti fondamentali: gli inizi dell'era sperimentale

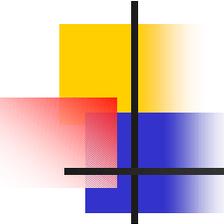
- Emulsioni fotografiche, camere a nebbia/bolle



# Charpak e la camera a fili



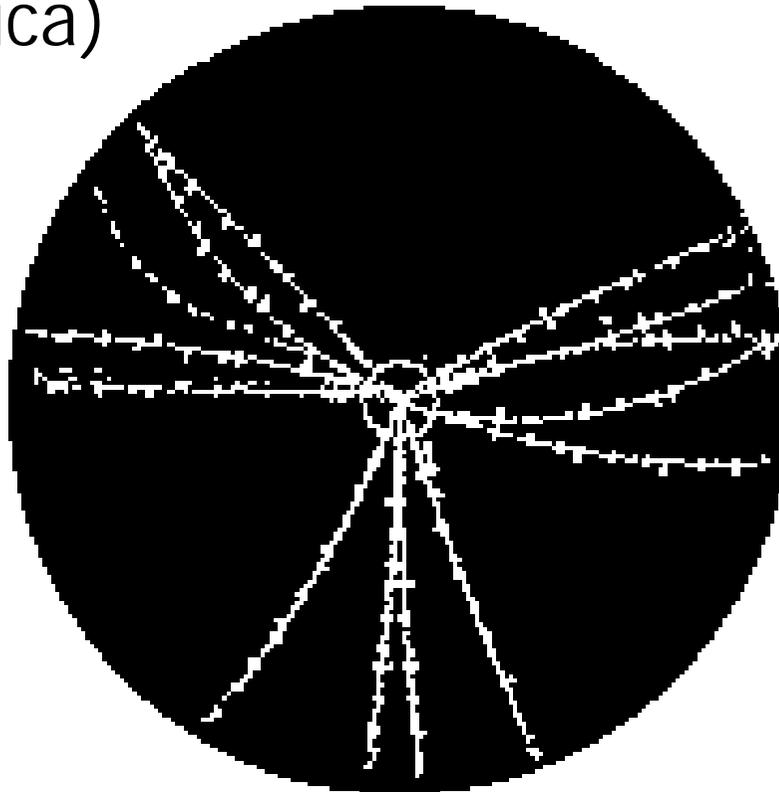
- Ora l'informazione e' facilmente digitalizzabile (ossia: traducibile in numeri) !
- La camera a fili apre la porta all'uso del computer per l'analisi dei dati in fisica fondamentale



# Rubbia e la rivoluzione elettronica

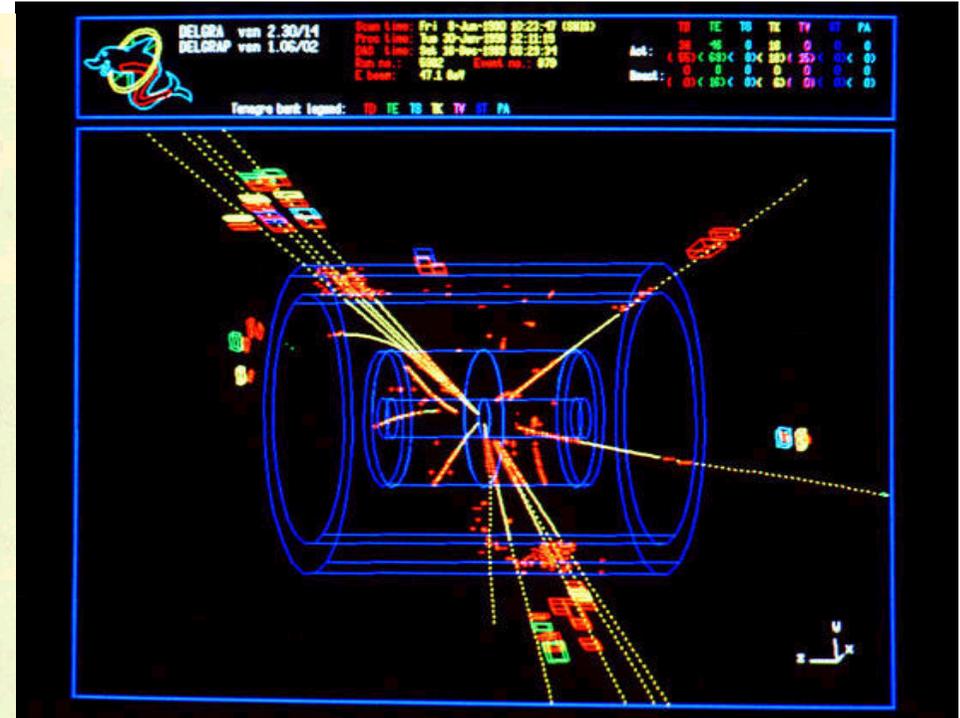
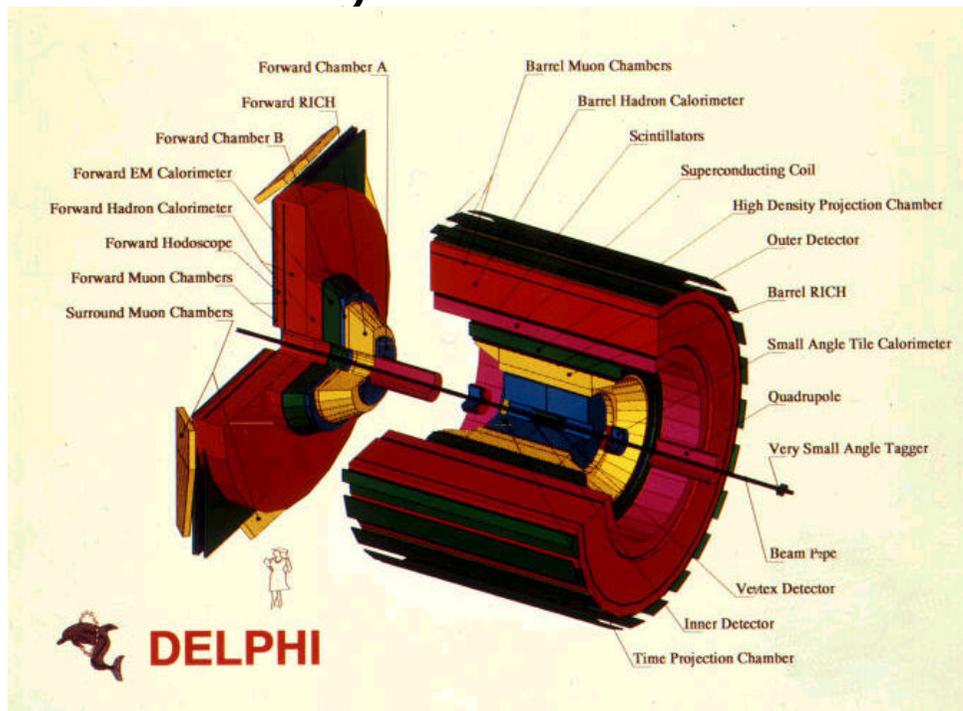
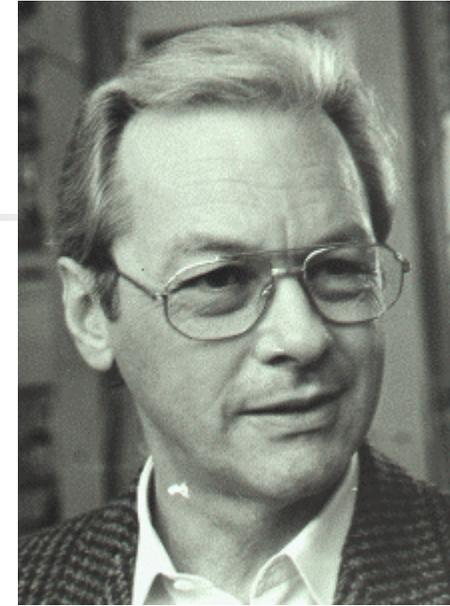
---

- UA1, Rubbia '80 : un grande esempio di uso delle tecnologie di punta ( $10^5$  canali di elettronica)



# Gli esperimenti di oggi

- Gli esperimenti di fine XX secolo : ~  $10^6$  canali di elettronica,  $> 1$  interazione/secondo (DELPHI, Amaldi '90)
- Data Summary Tapes di  $10^7$  eventi, ~  $10^{12}$  Bytes

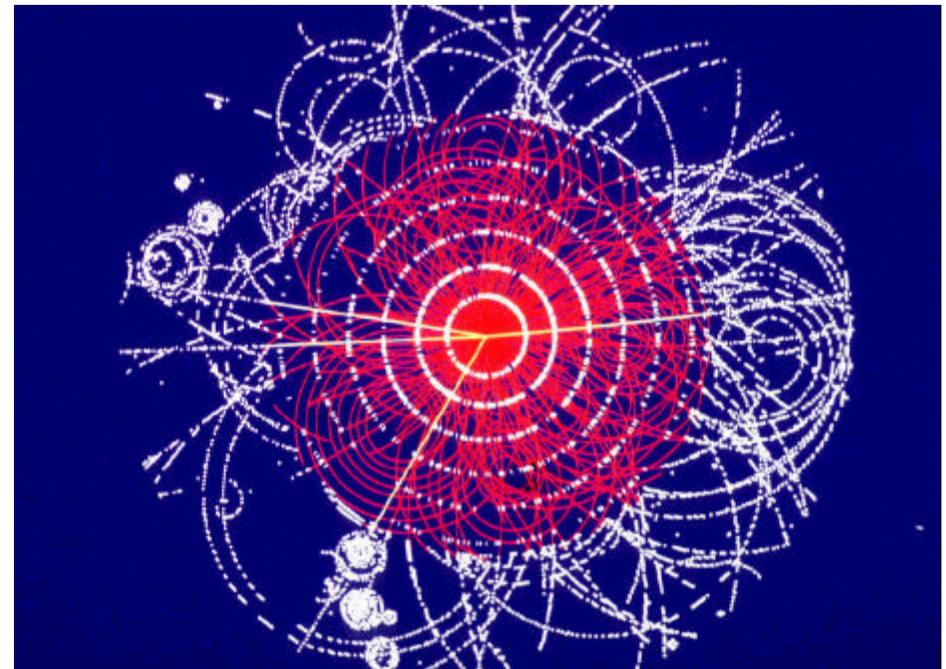
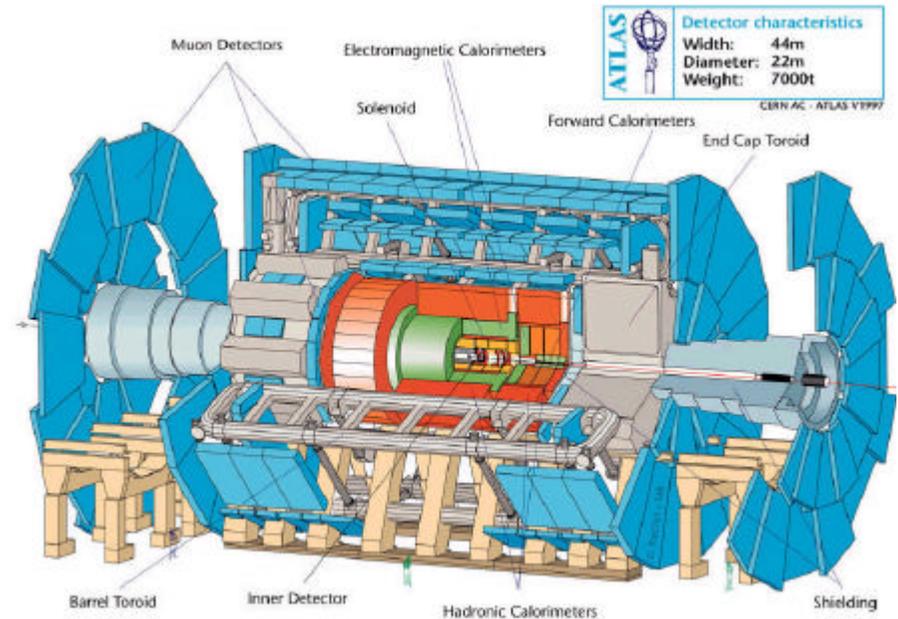


# Il prossimo futuro

- Nel prossimo futuro (2005-) aspettiamo un altro fattore 1000...
- ...impossibile "vedere" gli eventi senza il computer

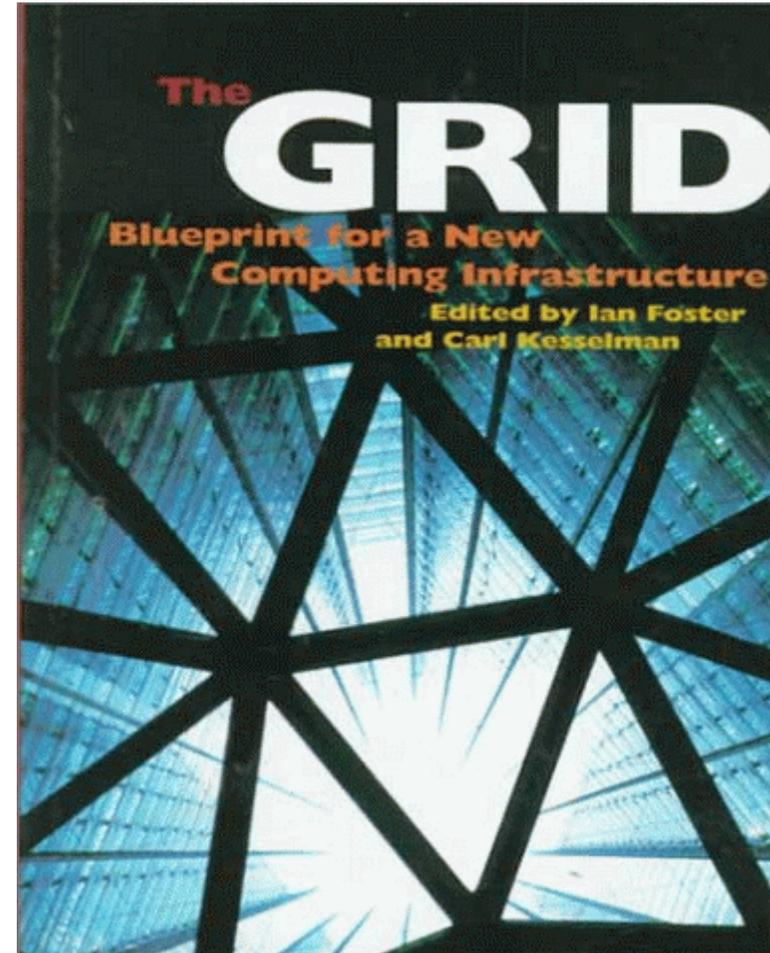
TROPPO PICCOLI E  
TROPPO COMPLESSI

Fisica Computazionale a  
Udine: enfasi  
sull'acquisizione dei dati



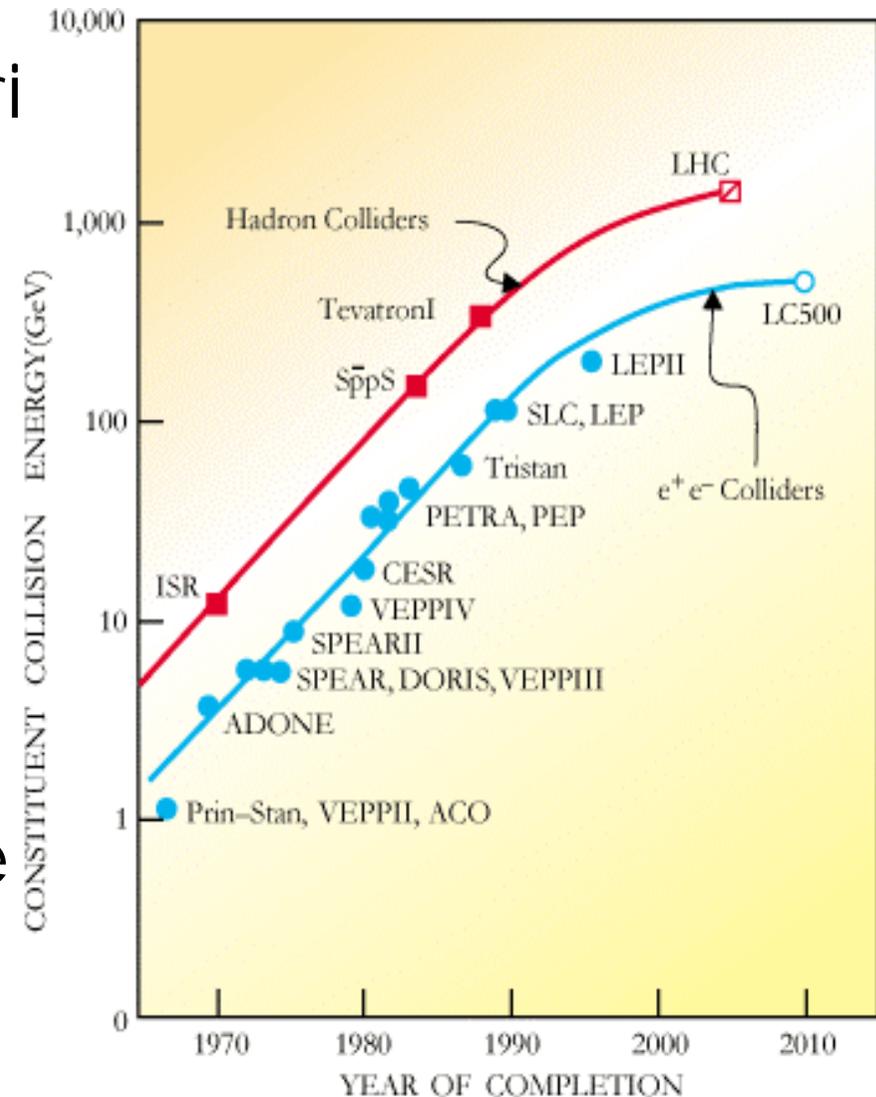
# Le infrastrutture e l'elaborazione dell'informazione

- Tecnologie di punta nell'immagazzinamento dei dati e nell'elaborazione dell'informazione  
**Byproducts come il World Wide Web**
- ...e dimenticatevi Matrix: ora arriva GRID



# Fisica dei costituenti elementari: una linea per il futuro

- Per andare oltre, acceleratori grandi come le stelle e le galassie...
- Ma ci sono acceleratori grandi come le stelle e le galassie: sono le stelle e le galassie stesse
- Dall'Universo, raggi di energia  $10^8$  volte  $>$  di quelli che l'uomo riesce a produrre
- NASA, ESA: cercare l'infinitamente piccolo nell'infinitamente grande

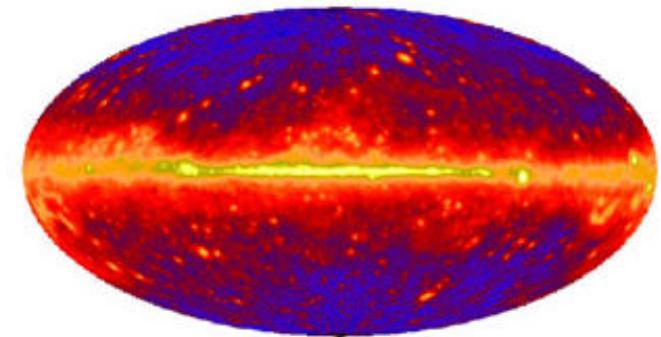
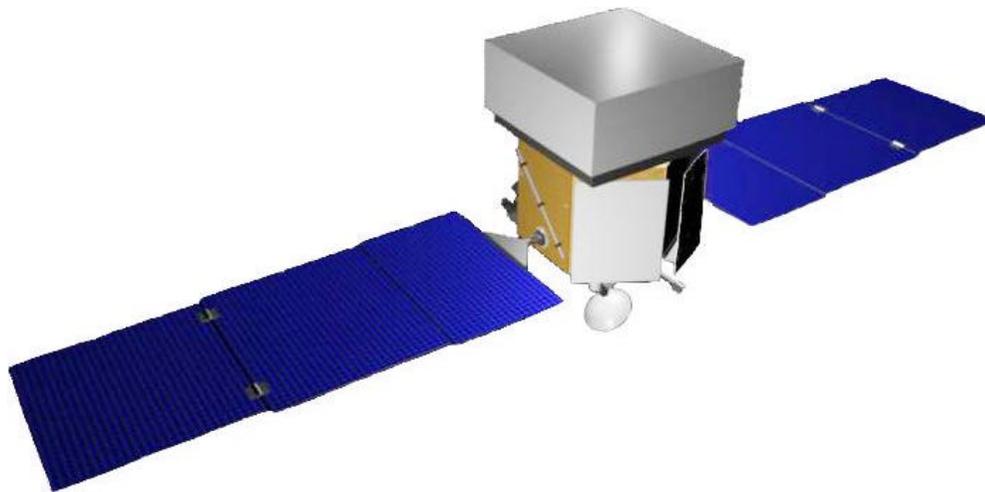




GLAST verra' spedito in orbita nel 2005 da un vettore della **NASA**.

Lo strumento e' ispirato alle tecniche della fisica delle particelle.

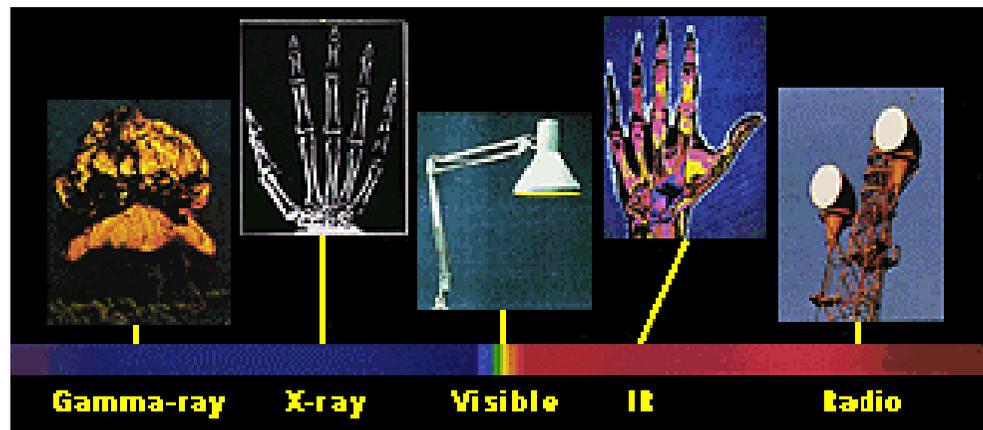
**Utilizzando un know-how costruito in una pluriennale collaborazione con il CERN di Ginevra e una preziosa sinergia con Informatica, a Udine abbiamo la responsabilita' dell'event display e di parte del software di simulazione e studiamo come interpretare i segnali.**

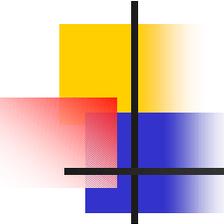


*Come ci aspettiamo una mappa del cielo nello spettro dei raggi gamma dopo un anno di lavoro di GLAST. Al centro la Via Lattea, la nostra galassia.*

# Vediamo solo in parte cio' che ci circonda

- C'e' tutto un mondo di colori, ma i nostri occhi vedono solo una stretta banda
  - Dal rosso al violetto nell'arcobaleno
  - Ogni colore corrisponde a una diversa energia della luce
- Anche i colori che non vediamo hanno nomi a noi familiari: ascoltiamo la radio, scaldiamo il cibo nel microonde, fotografiamo le nostre ossa mediante i raggi X...

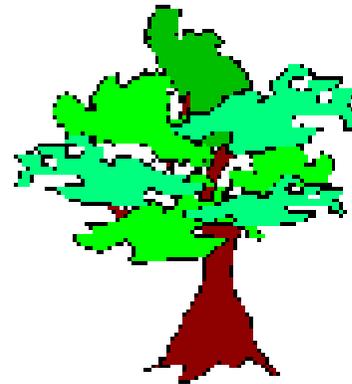
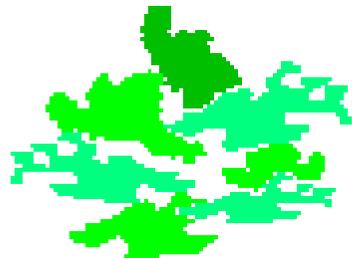




## E il resto ?

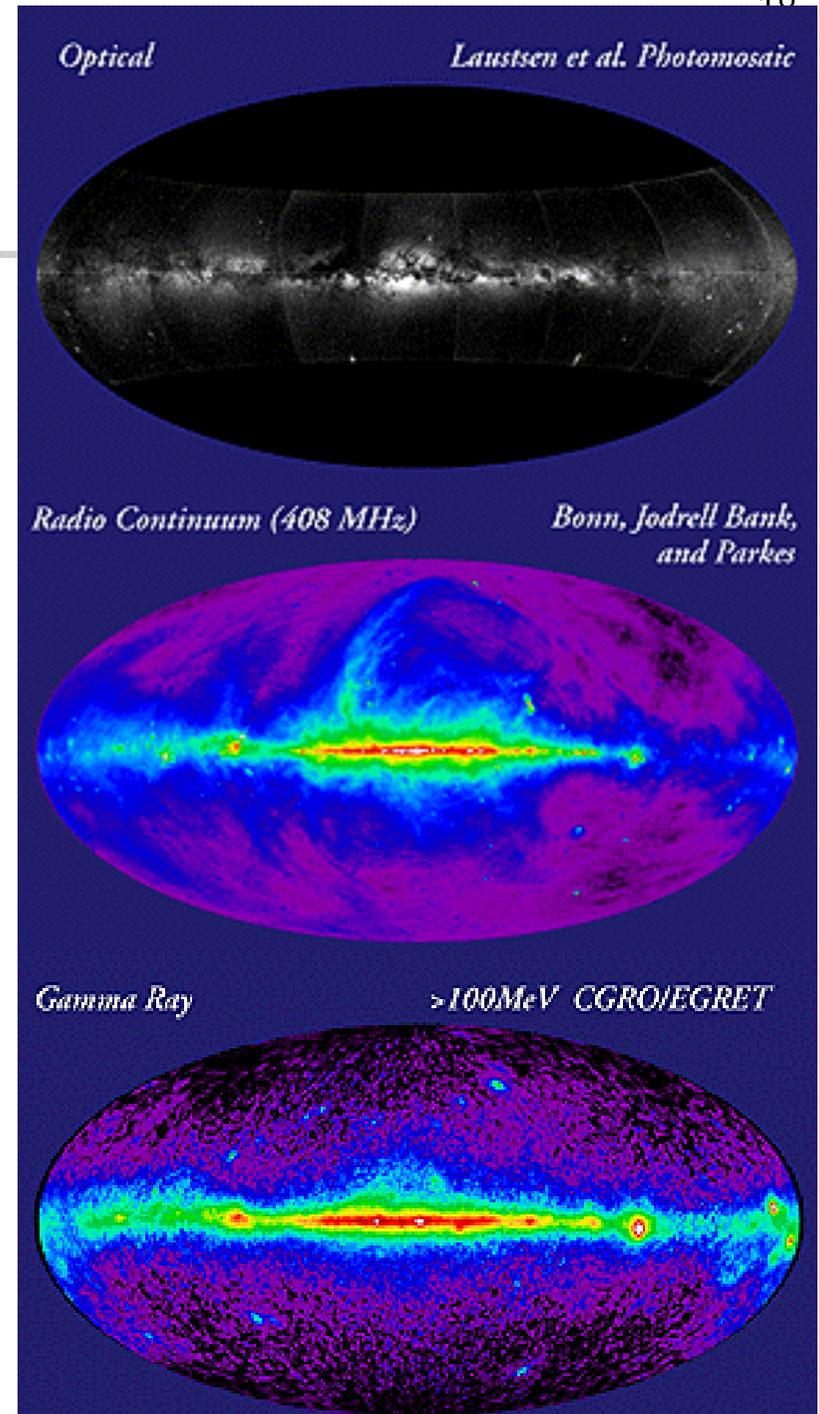
---

- avete mai pensato che cosa accadrebbe se vedessimo solo il verde ?



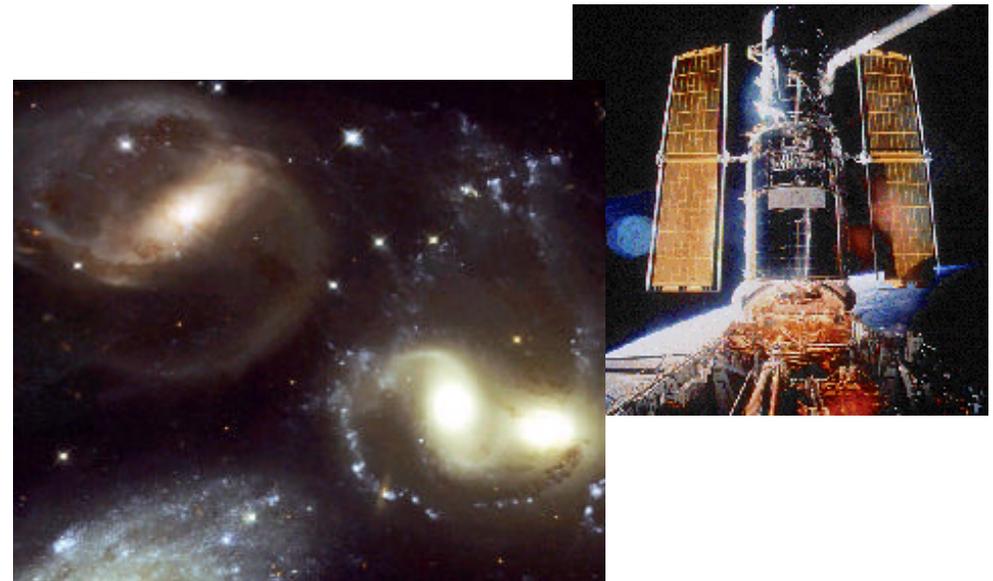
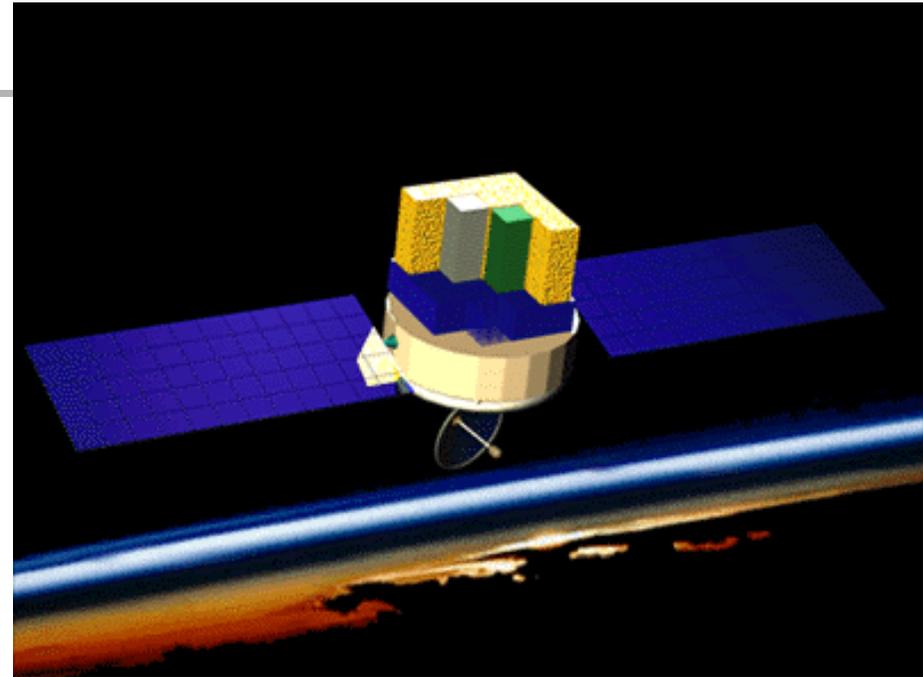
# L'universo che non vediamo

- Quando si fa una foto si cattura la luce (anche l'immagine del telescopio, ingrandita, viene dalla luce visibile)
- Analogamente si puo' mappare in falsi colori l'immagine di un "telescopio a raggi X"
- L'elaborazione dell'informazione e' cruciale



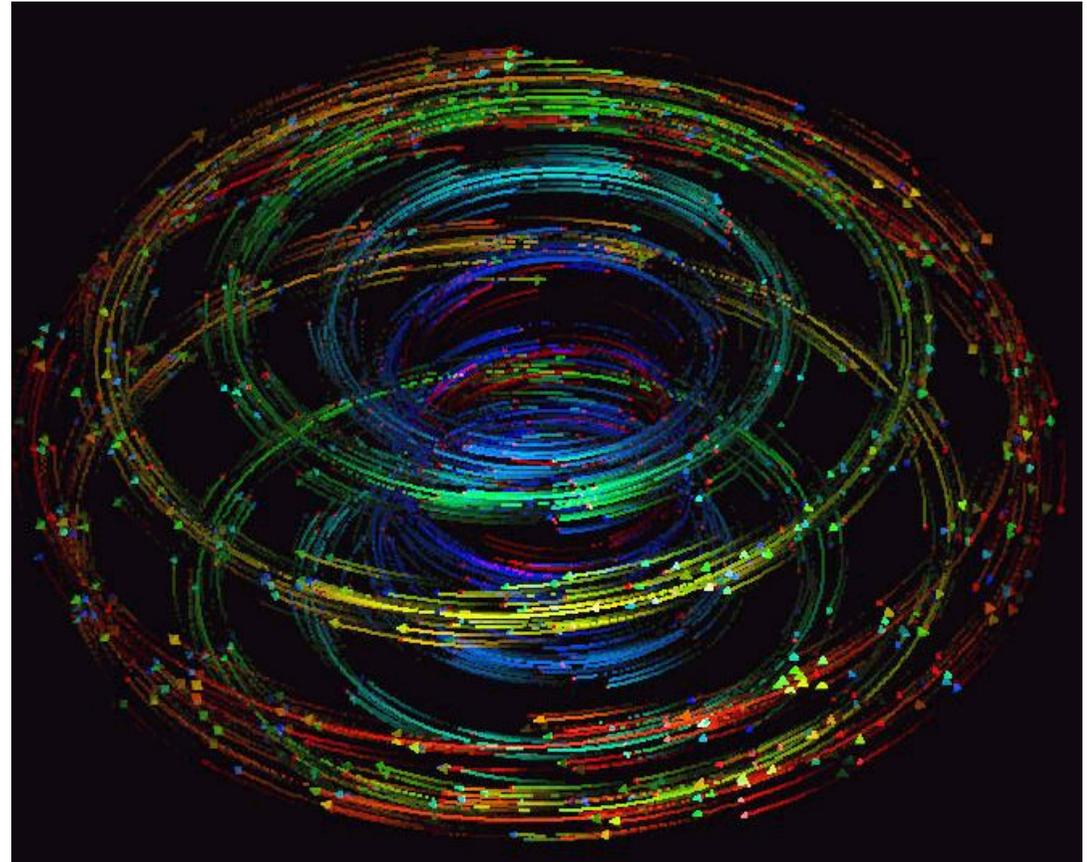
# Il resto dello spettro: osservazioni spaziali

- Per limitare gli effetti di diffusione dell'atmosfera, i nuovi telescopi vengono lanciati nello spazio
- Misurare quanta materia c'è nell'Universo ci può chiarire il problema fondamentale : l'universo tornerà indietro o continuerà ad espandersi indefinitamente ?



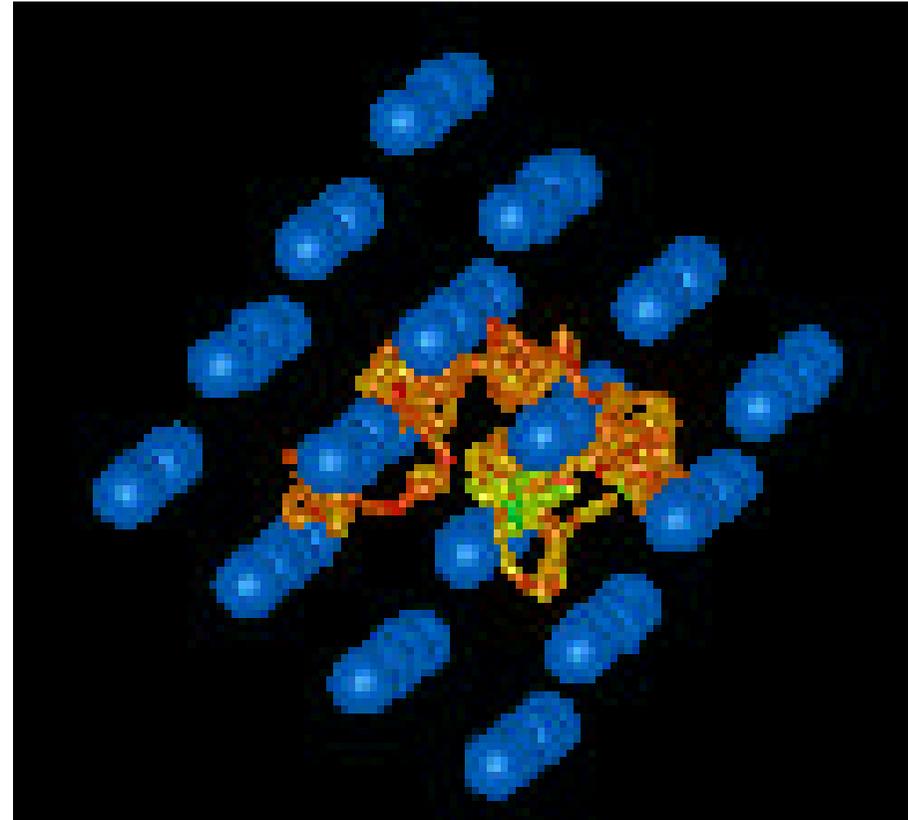
# L'informatica e i sistemi complessi...

- Frontiere piu' lontane: dai sistemi a molti corpi al caos
- Applicazioni piu' svariate:
  - Chimica
  - Scienza dei materiali
  - Fluidodinamica
  - ...
  - *Nascita della coscienza*
  - *Vita artificiale*



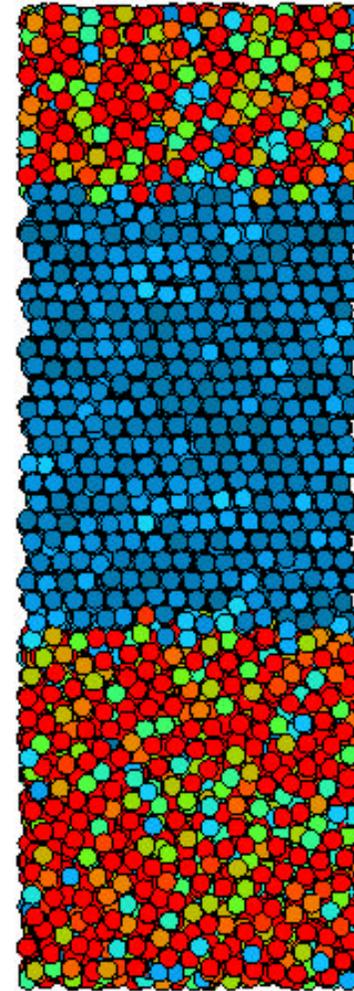
# L'organizzazione della materia

- Fasi gassosa, liquida, solida e...
- Non sappiamo neppure calcolare le temperature di transizione di fase
- I calcoli sono appena agli albori, ma la tecnica computazionale e' spinta ai limiti



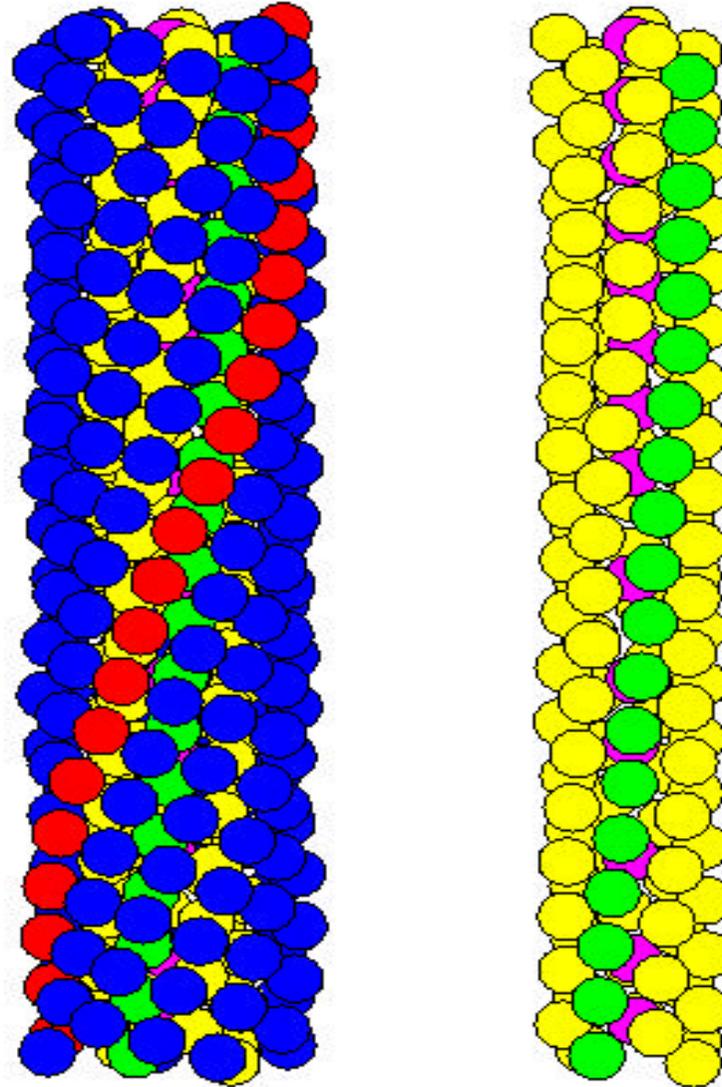
# Interfacce e fenomeni di superficie

- Dio ha creato la materia, il diavolo le superfici (e le interfacce)...
- Ed e' proprio sulle interfacce che si gioca la performance di dispositivi tecnologicamente avanzati



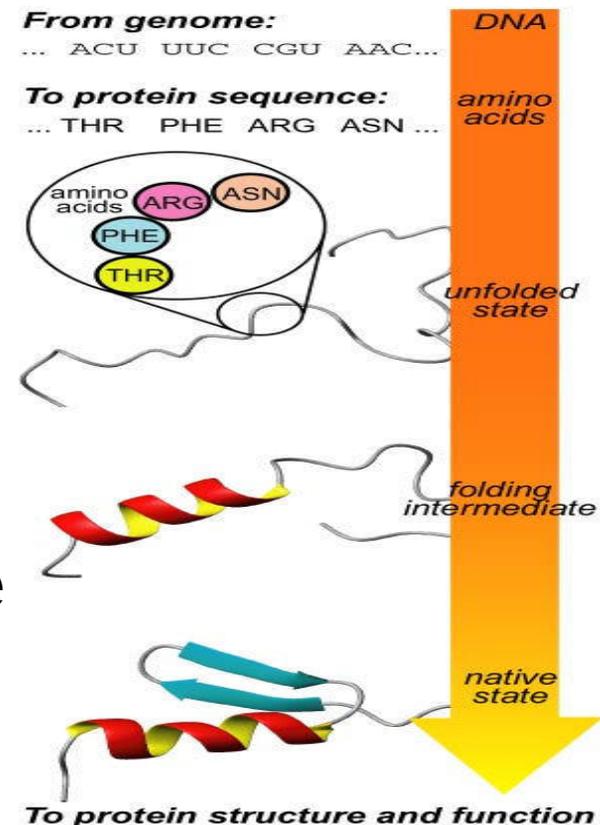
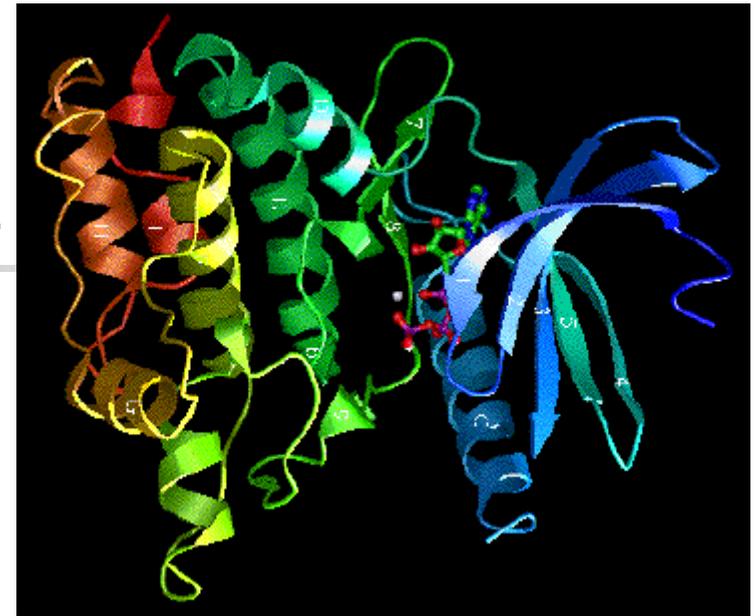
# Nanostrutture

- Nel limite di piccole strutture, i minimi energetici possono corrispondere a configurazioni eleganti e bizzarre
- Nella fisica i misteri della teoria dei numeri



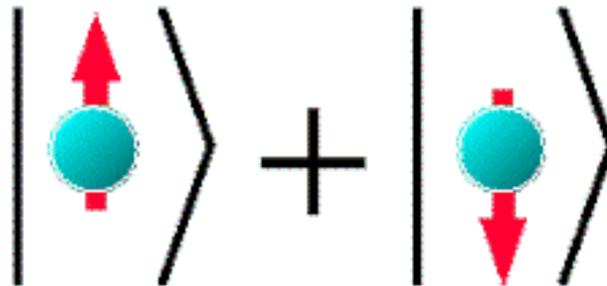
## E parlando di eliche...

- Comprendere come le proteine si strutturano
  - La struttura di piccole proteine puo' essere ottenuta tramite modelli fisico-computazionali
  - Passo successivo: folding di proteine medio/grandi
- Perche' certe proteine non 'foldano' correttamente ?
  - Mucca pazza, Alzheimer
- Protein folding e nanotecnologie
  - Design di proteine e di 'nanomachines'

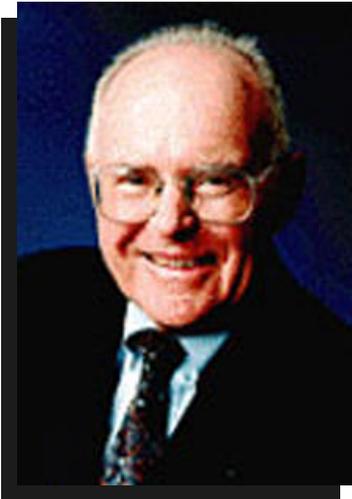


# La fisica aiuta l'informatica

- Computers sempre piu' potenti
- Nuovi paradigmi del pensiero
  - In meccanica quantistica un oggetto puo' essere contemporaneamente *A* e non-*A*: *tertium datur*



# Lo sviluppo della tecnologia elettronica



Electronics, Volume 38, Number 8, April 19, 1965

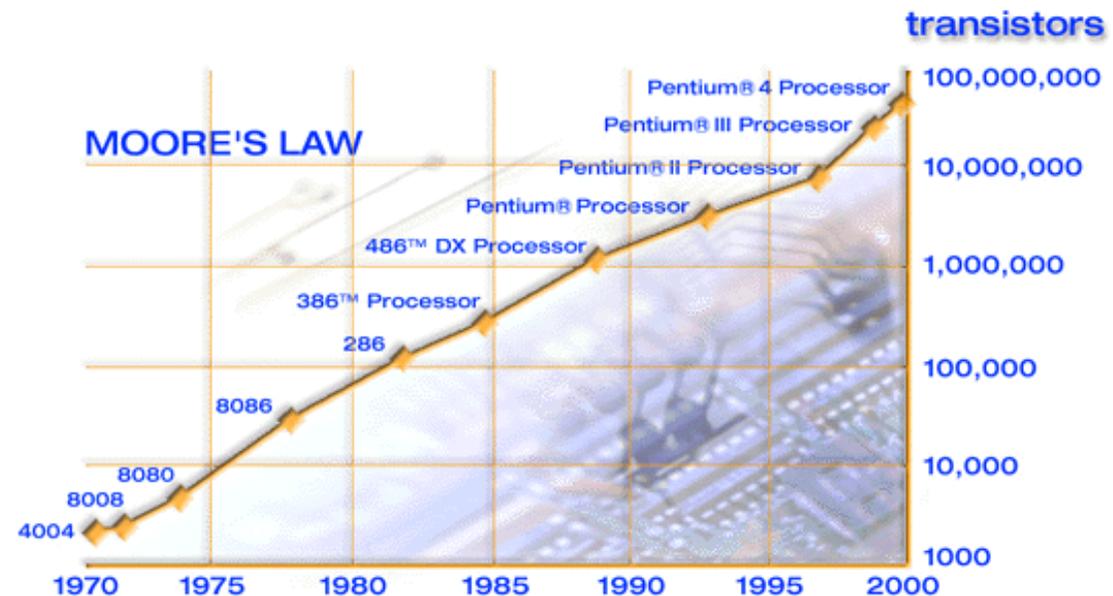
## Cramming more components onto integrated circuits

By Gordon E. Moore

Director, Research and Development Laboratories, Fairchild Semiconductor division of Fairchild Camera and Instrument Corp.

### *La legge di Moore*

*Raddoppio delle funzioni  
(... dei componenti)  
ogni due anni*

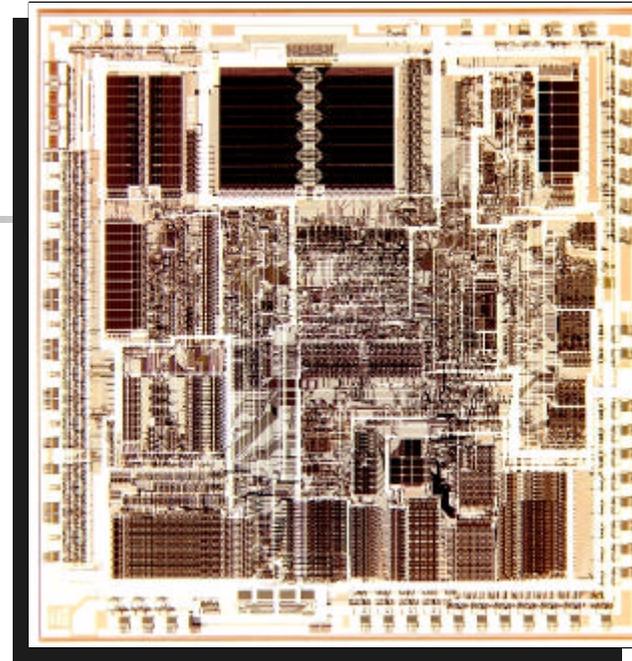
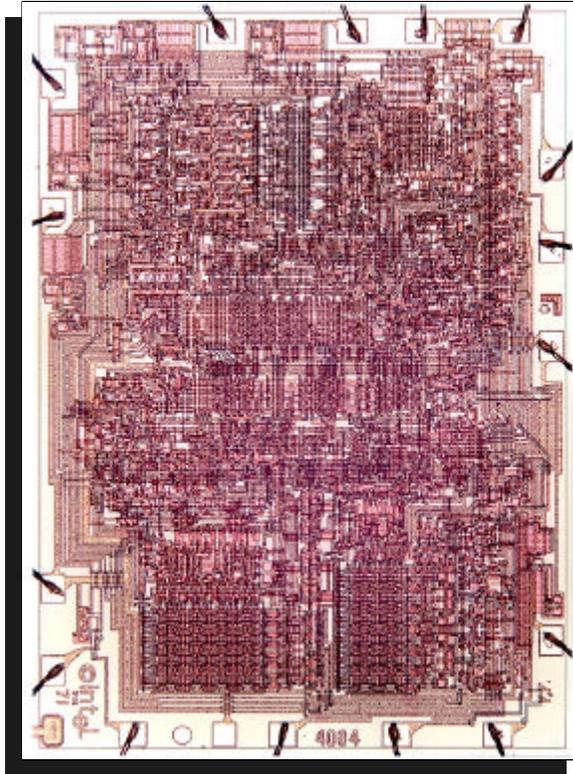


# Miglioramenti strutturali

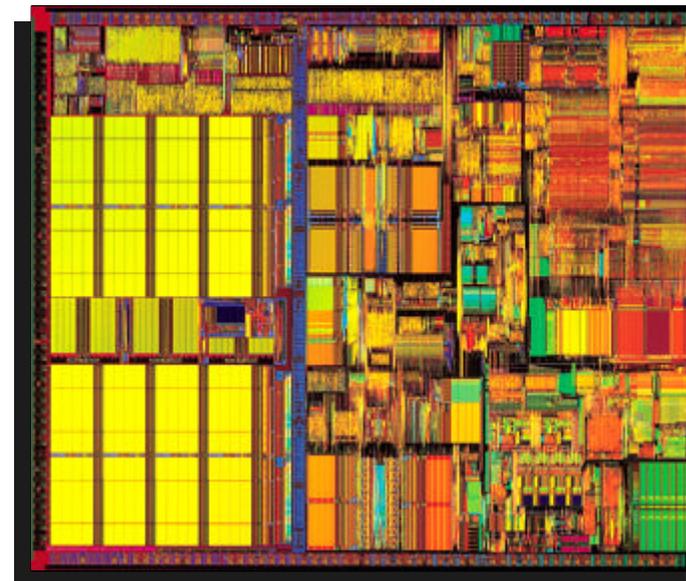
Il primo circuito integrato (1958)



4004 (il primo microprocessore, 1971)

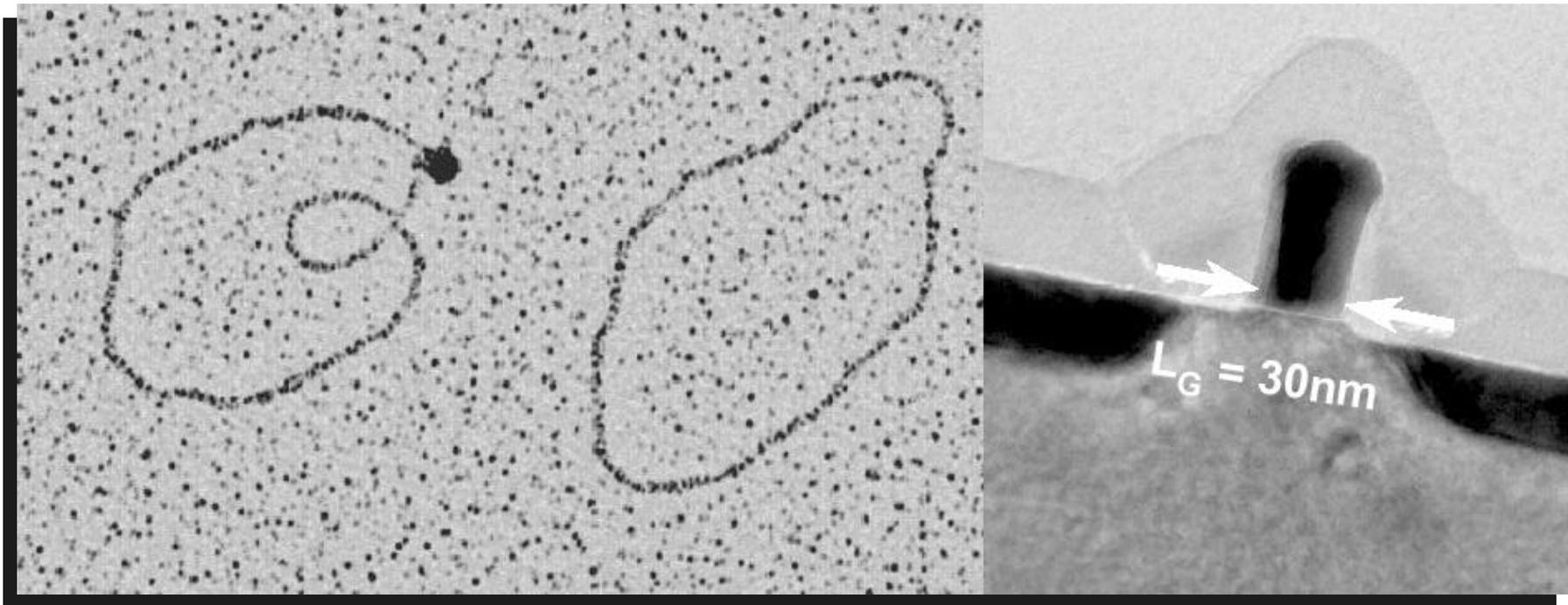


80286 (1982)



Pentium III  
(1999)

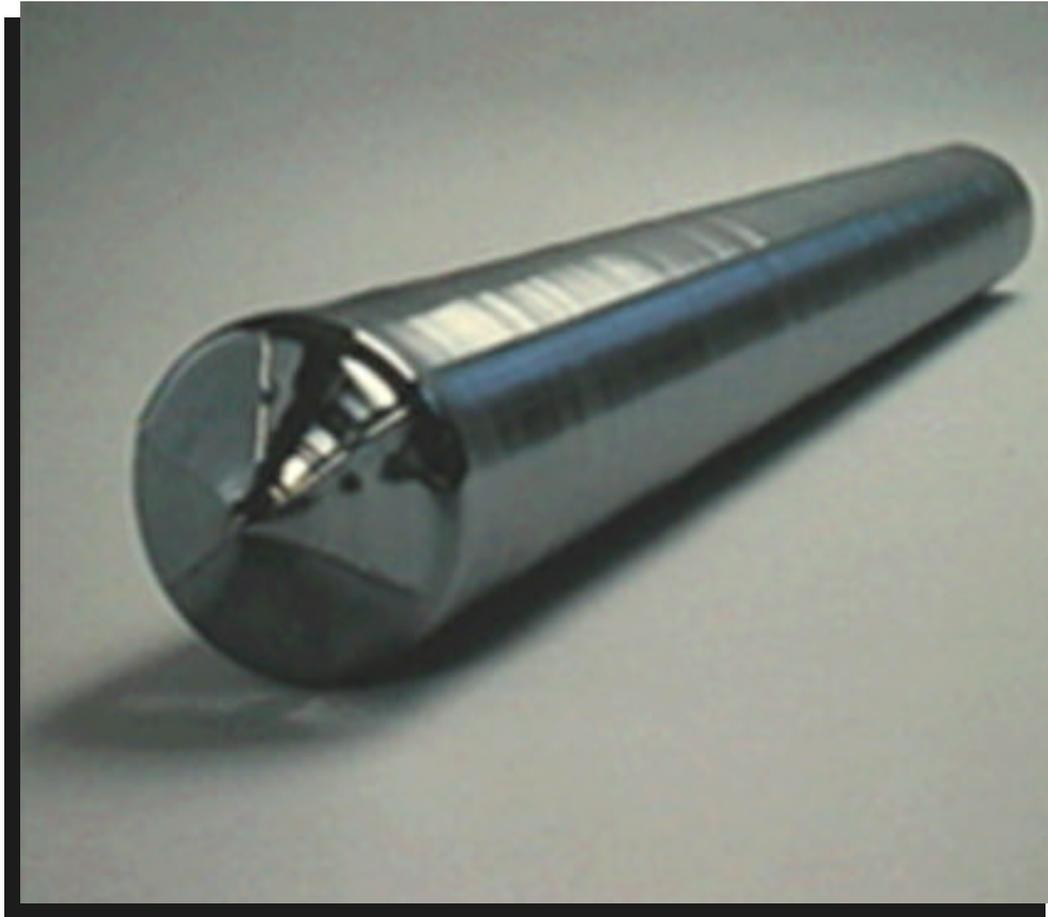
# Frontiere attuali (2005): transistor piccoli come il DNA...



Particella d'oro da 10 nm attaccata a un anticorpo Z-DNA  
J. Jackson et al., Gene 1989 84 221-226

Transistor di ricerca dell'Intel Corp.

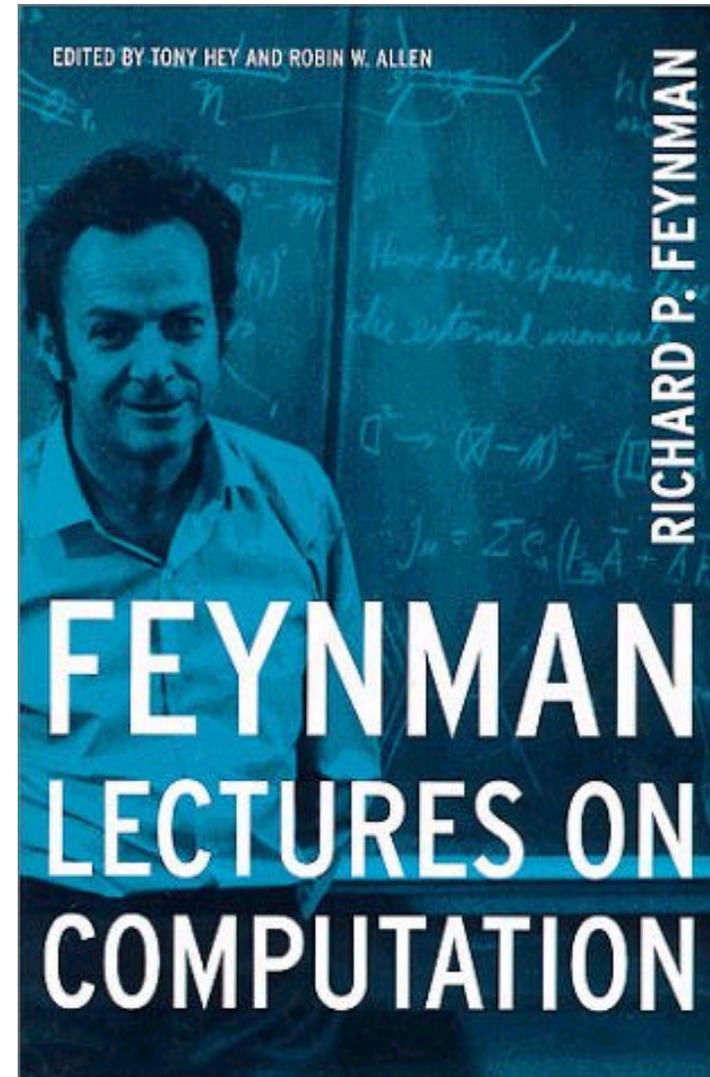
...su monocristalli di silicio sempre  
piu' grandi

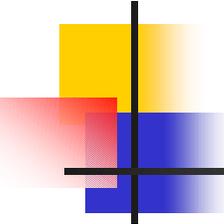


la tecnologia attuale sta passando da wafers da 20 cm a  
wafers da 30 cm

# E infine quel che forse e' il campo piu' attuale: la computazione quantistica

- Un campo recente: iniziato dal (grandissimo) fisico R. Feynman nel 1982
- Primi algoritmi pubblicati nel 1996
  - Semplificazione sostanziale di molti problemi
- Una sfida epocale: costruire un computer quantistico





# La fisica sviluppa l'informatica e l'informatica sviluppa la fisica

---

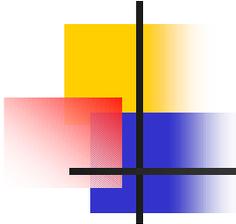
L'interplay tra fisica e matematica che ha tanto ha giovato alla comprensione della natura nei secoli scorsi ha oggi un terzo attore: l'informatica

- Per afferrare i principi primi e il destino ultimo dell'universo, i suoi osservatori diventano bionici...  
Fra gli strumenti il computer e' uno dei protagonisti
  - Sempre piu' cerchiamo risposte ai problemi fondamentali con l'aiuto dell'occhio del computer. L'elaborazione dell'informazione e' la chiave
- La fisica sviluppa computers sempre piu' potenti e definisce nuovi paradigmi del pensiero

# Il corso di laurea specialistica in Fisica Computazionale

- Dipartimento di Fisica di Udine coinvolto in attività' di Astroparticle, Meteorologia, Fisica agli Acceleratori, Stato Solido
- **Sinergia tra Fisica e Informatica a Udine**
  - 80 docenti e 200 matricole di Informatica
    - Tradizione ventennale di ricerca
- Posizione centrale e bacino ricco d'industrie ad alta caratterizzazione tecnologica
- **Collaborazione tra le Università' del Friuli-Venezia Giulia**





# Corsi per chi accede da Fisica

---

- I anno: 10 corsi da 50 ore
  - Informatica Generale I
  - Informatica Generale II
  - Analisi Numerica
  - *Basi di dati*
  
  - Laboratorio di Analisi dei Dati
  - Metodi Monte Carlo
  - Elettronica con Laboratorio
  
  - Complementi di Meccanica
  - Meccanica Quantistica
  - Meccanica Statistica I
- II anno: 3 corsi, 1 libero + tesi
  - Modellistica e simulazione
  - Un esame a scelta tra:
    - Quantum Computing
    - Astroparticle Physics
    - Fisica delle Alte Energie
    - Struttura della Materia 2
    - Meccanica Statistica 2
    - Dinamica Molecolare
    - Fluidodinamica
    - Lab. di Acquisizione Dati
  - Un esame a scelta tra:
    - Immagini e Pattern Recognition
    - Sistemi Esperti
    - Fondamenti dell' Informatica
    - Interazione Uomo-Macchina

# Corsi per chi accede da Informatica/Matematica/Ingegneria

- I anno: 10 corsi da 50 ore
  - Laboratorio di Analisi dei Dati
  - Metodi Monte Carlo
  - Elettronica con Laboratorio
  
  - Chimica Generale
  
  - Strumenti e Misure Fisiche
  - Complementi di Meccanica
  - Meccanica Quantistica
  - Meccanica Statistica I
  - Struttura della Materia I
  - Particelle e Interazioni Fondamentali
- II anno: 3 corsi, 1 libero + tesi
  - Modellistica e simulazione
  - Due esami a scelta tra:
    - Quantum Computing
    - Astroparticle Physics
    - Fisica delle Alte Energie
    - Struttura della Materia 2
    - Meccanica Statistica 2
    - Dinamica Molecolare
    - Fluidodinamica
    - Lab. di Acquisizione Dati