



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
122° (2004), Vol. XXVIII, pp. 251-265

LUIGI DADDA *

Introduzione: le tecnologie di base, gli attuali ed i futuri supercomputers, i Grids in USA (il Teragrid) ed in Europa

LE TECNOLOGIE DI BASE

Introduzione

La comunicazione tra esseri umani riveste un'ovvia importanza: comunicazione tra esseri viventi e comunicazione tra generazioni anche del lontano passato.

L'uomo ha anche sviluppato tecnologie che gli hanno permesso di trasmettere informazioni a distanza, sia nello spazio come nel tempo: la scrittura, la stampa. È ben nota l'importanza dell'invenzione dei caratteri mobili da parte di Gutenberg. Mezzi ottici furono impiegati per comunicare a distanze di parecchi chilometri.

A partire dal 1799, con l'invenzione della pila elettrica da parte di Alessandro Volta, si sviluppa una nuova tecnologia che permette nuovi modi di trasmettere energia sotto la forma elettrica come pure di trasmettere ed elaborare informazione (telegrafo, telefono, radio, televisione, calcolatori elettronici).

L'*elettronica* nasce all'inizio del secolo scorso e la caratterizza. (L'elettrone fu scoperto nel 1899 da Thomson, che usava celebrarlo con un augurio: «che non serva mai a nulla»! Mai una previsione fu tanto sbagliata!) I calcolatori elettronici hanno permesso di costruire macchine che elaborano l'informazione tramite *programmi* (che costituiscono il *software*). I programmi dei calcolatori descrivono, in forma adatta alle macchine, algoritmi di calcolo e più in generale di elaborazione, di complessità anche grandissima, che vengono fedelmente e rapidamente eseguiti. Essi costituiscono il più potente strumento inventato dall'uomo per aiutarlo nelle sue attività, di ogni genere. (Infatti il calcolatore può essere adibito al controllo di macchine di ogni tipo).

* Dipartimento di Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano. Piazza Leonardo da Vinci, 32 - 20133 Milano. E-mail: luigi.dadda@polimi.it

La tecnologia dei semiconduttori

Tale tecnologia ha permesso l'invenzione del transistor e poi dei *circuiti integrati*. La loro «complessità» è data dal numero dei transistori realizzati su un «chip» di materiale semiconduttore, in genere silicio. La crescita di tale numero nel corso dei decenni trascorsi è rappresentata in fig. 1, che utilizza nelle ordinate una scala logaritmica. La crescita appare circa esponenziale e si può anche esprimere dicendo che il numero di transistori su un chip raddoppia ogni circa 18-24 mesi: si tratta della *legge di Moore* [3].

Nella figura 2 si vede la fotografia di un chip al silicio composto da ben 42 milioni di transistori (si tratta del microprocessore *Intel - Pentium 4*, apparso nel 2000).

Nella stessa Fig. 1 è anche rappresentata una analoga legge empirica che esprime la crescita della densità (in bits/centimetro quadrato) delle *memorie a disco magnetico*, di vitale importanza, come è a tutti noto, in qualsiasi calcolatore. Si con-

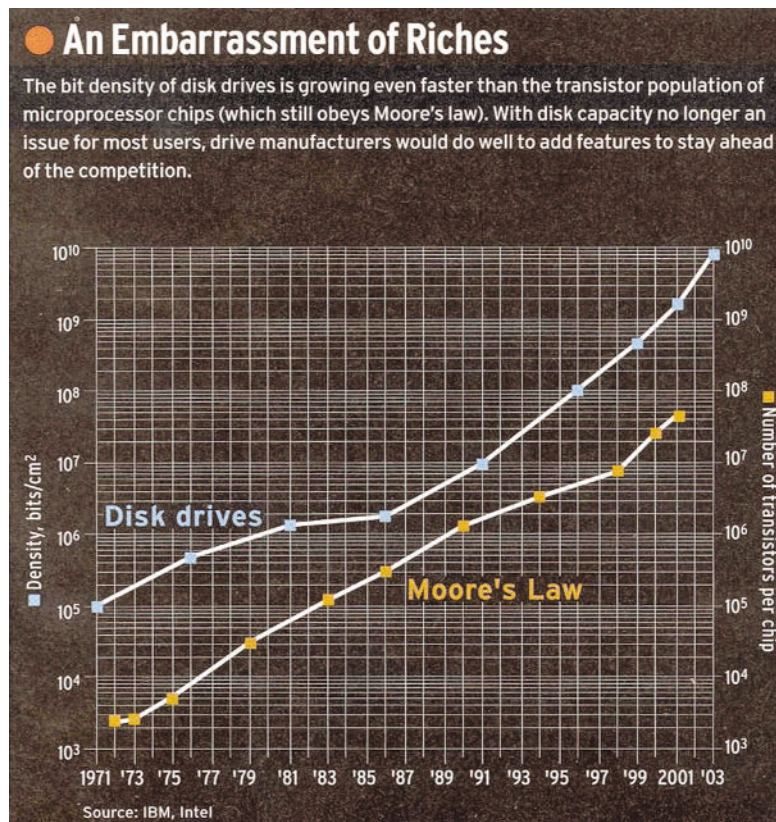


Fig. 1.

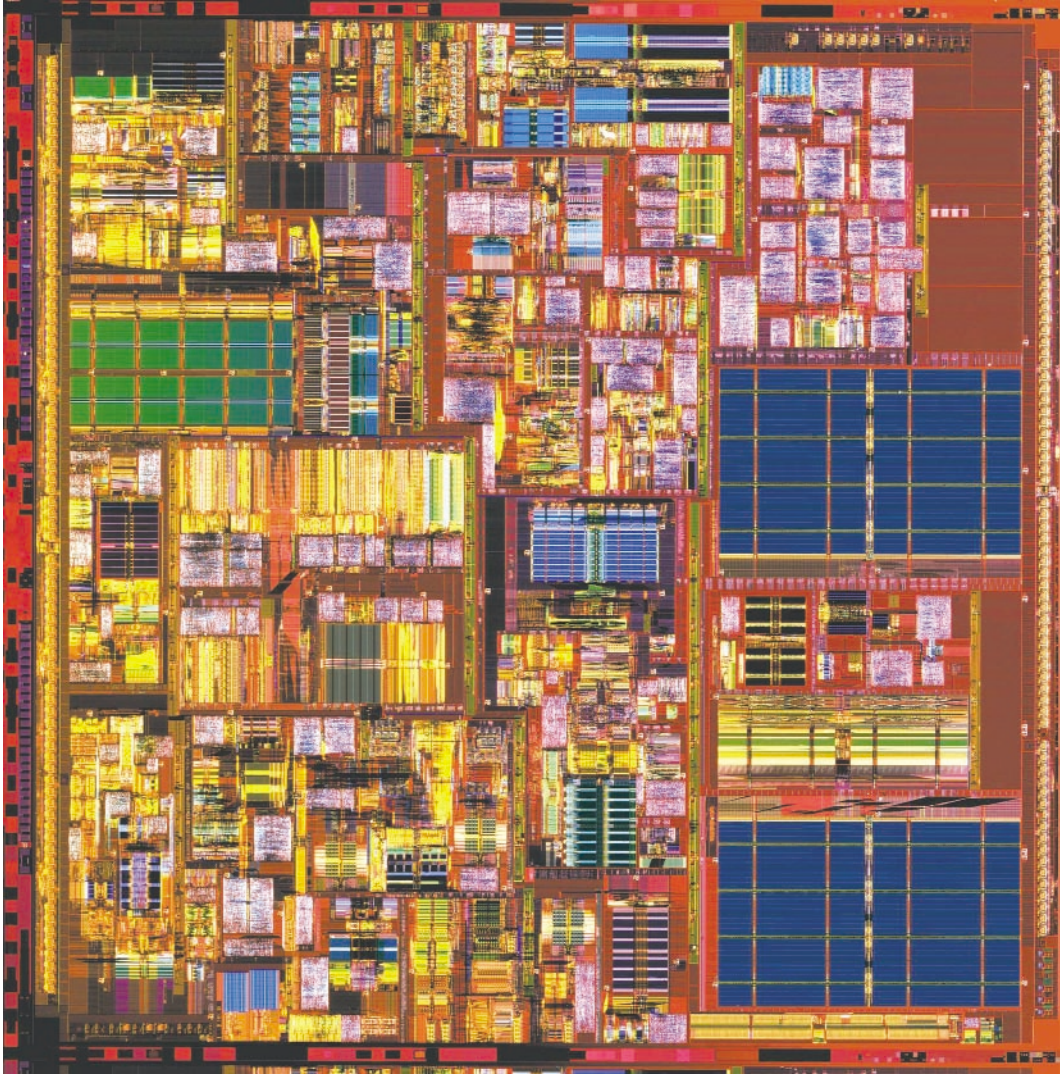


Fig. 2.

stata che tale densità cresce più rapidamente della legge di Moore. Ciò è alla base dell'impressionante incremento delle capacità delle memorie a disco (hard disk) anche piccole (diecine di GigaBytes; Giga = mille Mega = mille milioni) nei recenti anni.

Limiti tecnologici: che cosa dopo?

Si prevede che la legge di Moore continuerà a valere per altri 5-10 anni: si potranno perciò ottenere chips fino a cento volte le complessità attuali.

È dopo? Potrà continuare una crescita con lo stesso ritmo?. Nessuno può rispondere oggi con certezza a tale domanda. Si può però notare che altre tecnologie, oggi in fase di gestazione, potrebbero offrire capacità di crescita anche molto maggiori di quelle oggi disponibili. Una di tali tecnologie si basa sulla possibilità (accertata sia teoricamente sia sperimentalmente) di utilizzare lo *spin* di un elettrone per rappresentare una variabile numerica o logica. Tale possibilità è intensamente studiata, e potrebbe permettere densità di memoria e capacità di elaborazione molto maggiori di quelle possibili oggi. Avremmo così una *spintronica* che sostituirebbe l'*elettronica*. Altre tecnologie sono in fase di investigazione e sviluppo iniziale, quale quella basata sulle molecole tubolari di carbonio (*nanotubi*) e quella che utilizza l'*elettronica molecolare*. Per la rilevanza delle proprietà quantistiche in questi nuovi dispositivi, si usa anche la dizione *elettronica quantistica* (*quantum electronics*).

Optoelettronica e fibre ottiche, i satelliti per comunicazione

I più veloci collegamenti a fibre ottiche sono oggi a 40 Gb/s, con modulatori a niobato di litio.

Maggiori frequenze risultano possibili con nuovi modulatori facenti uso di speciali polimeri (nei laboratori Lucent: fino a 150-170 Gb/s). La tecnologia WDM (Wavelength Division Multiplexing) basata sull'impiego di numerose frequenze portanti («colori») nella stessa fibra permetterà di aumentare considerevolmente le capacità trasmissive delle fibre ottiche. È stato possibile generare segnali ottici rilevabili fino a 1.600 Gb/s = 1,6 Tera b/s (IEEE Spectrum, Febr. 2003 pg. 20). La Siemens ha peraltro annunciato [2] nel 2002 il raggiungimento di 7 Tera b/s in laboratorio e di 3.2 Tera b/s nel prodotto commerciale, Fig. 3.

Si deve comunque tenere presente che le frequenze utilizzabili nelle reti possono essere limitate dalle bande passanti dei nodi (*routers*).

I *satelliti artificiali* sono come è ben noto largamente usati nelle attuali reti per telecomunicazione. Essi risultano tra l'altro particolarmente adatti per connettere luoghi dispersi e molto lontani da grandi centri abitati, ove sarebbe praticamente impossibile una connessione con fibra ottica.

Si tenga infine conto dei sistemi per la determinazione della posizione geogra-

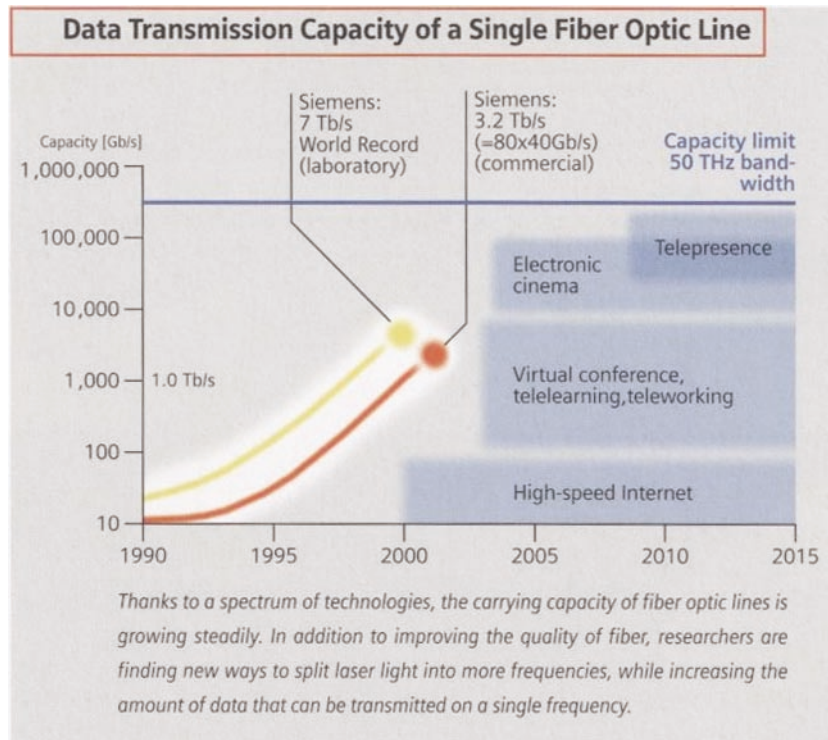


Fig. 3.

fica (GPS – *Global Positioning System*) già ora largamente diffusi in molte applicazioni, e che sono basati su satelliti artificiali.

Il software

È la tecnologia che più spiccatamente caratterizza l'informatica: il concetto di *programma* è strettamente connesso a quello del calcolatore secondo l'architettura di *Von Neuman* scelta già alla fine degli anni quaranta, (insieme alla rappresentazione binaria dei numeri). Lo sviluppo del software come tecnologia per la costruzione dei programmi richiese vaste ricerche teoriche e diede anche origine ad uno specifico settore industriale, caratteristico per l'immaterialità del prodotto (il costo è concentrato nella costruzione del primo esemplare, riproducibile poi a costi trascurabili).

Senza ripercorrere il cammino di tale sviluppo, si richiamerà qui come fase importante la nascita prima dei *linguaggi artificiali*, poi quella dei *sistemi operativi* e quella dell'*ingegneria del software*, sorta per «ingegnerizzare» la produzione del

software, affrontata agli inizi con metodi artigianali, anche per renderne più efficiente ed economico il crescente uso. Ad essa si è affiancata l'*informatica teorica* per la formulazione rigorosa dei fondamenti teorici dell'informatica nonché di metodi di sviluppo (e che può dirsi parte delle matematiche).

Nel corso degli anni si è affermata tramite Internet un'iniziativa che si può definire sorprendente: gruppi di programmatori specialisti hanno sviluppato importanti programmi, rendendoli liberamente disponibili (a precise condizioni) tramite Internet, cioè come *software «open source»*. Si segnalano i più importanti casi: il sistema operativo *Linux* adottato da vari costruttori come HP e IBM (può sostituire Windows e Solaris); il browser *Mozilla* (può sostituire Explorer e Netscape); *Open Office* (può sostituire Microsoft Office); i database *MySQL* e *Postgres* (possono sostituire Oracle e DB2).

Un'ulteriore disciplina da affiancare all'informatica è l'*intelligenza artificiale*, che è nel tempo evoluta dalla fase iniziale, come sede di studio dei problemi per i quali non risultava possibile la formulazione di algoritmi di soluzione (p.e. il riconoscimento del parlato), alla fase attuale nella quale l'accento è posto sulla rappresentazione delle conoscenze e sullo studio dei processi cognitivi. Continuo e fruttuoso è stato il travaso di concetti verso le applicazioni informatiche, p.e. per quanto riguarda gli «agenti» e le popolazioni di agenti come nuovi strumenti per la ricerca e l'elaborazione dell'informazione. Un'altra materia specifica è l'*informatica linguistica* nella quale fu prevalente all'inizio l'interesse nella «traduzione automatica» ed oggi è diventata la *linguistica computazionale* che si occupa della elaborazione dei testi nei linguaggi naturali.

NUOVI PROBLEMI E INNOVAZIONI

La sicurezza nelle reti informatiche

La denominazione «*autostrade dell'informazione*» attribuita al sistema di comunicazioni realizzato con *Internet* appare suggestiva ma è anche ingannevole sotto vari aspetti. Un aspetto importantissimo delle comunicazioni è costituito dalla garanzia che una data informazione possa pervenire al solo destinatario voluto. Tale aspetto fu trascurato nella prima fase di sviluppo di Internet, utilizzato prevalentemente da istituzioni scientifiche. Quando però l'uso divenne generalizzato, ed in particolare si estese al campo delle aziende od enti pubblici e non pubblici di vario tipo (governi, servizi sanitari, ecc.) apparve chiaro che risultava troppo facile, e di grande danno, la mancanza di protezione delle informazioni, trasmesse od anche solo memorizzate, nei confronti di intrusi (i famosi *hackers*). Si introdussero allora modalità di trasmissione che proteggevano la segretezza dei messaggi nei casi voluti, con l'adozione di collegamenti muniti di funzioni di criptazione-decriptazione.

È apparso anche importante sviluppare convenientemente gli algoritmi necessari, essendosi presto rivelati alquanto inadeguati quelli allora in uso. Il governo

USA promosse lo studio di nuovi più sicuri algoritmi, inizialmente riservati agli utenti americani, ma si rivelò ben presto l'esigenza che essi potessero essere disponibili a tutti (è noto che l'iniziale riluttanza verso questa decisione era dettata dalla necessità di proteggersi nei confronti dei terroristi).

Il mondo della ricerca iniziò allora a lavorare sul problema, che non è tanto facile se si pensa che una criptazione deve poter «resistere» ad attacchi (è in comune uso questo linguaggio «bellico») tramite l'uso di calcolatori.

Oltre alle criptazione ed alla deciptazione è anche previsto un algoritmo che trasforma il testo da trasmettere in un messaggio «condensato» in 256 o in 512 bits tramite una operazione detta di «hashing»: tale «hash», trasmesso indipendentemente dal messaggio originale, può essere confrontato con l'«hash» eseguito sul messaggio ricevuto e deciptato per verificarne l'autenticità. L'hash funge, cioè, da «impronta digitale» del messaggio.

Gli algoritmi di cui sopra sono generalmente utilizzati tramite software: la complessità dell'algoritmo penalizza fortemente i tempi necessari sia prima sia dopo la trasmissione.

Nell'attuale fase di sviluppo è in corso di studio la realizzazione degli stessi algoritmi tramite appositi circuiti integrati, con l'obiettivo di renderne l'esecuzione sufficientemente veloce perchè la presenza delle operazioni di criptazione, deciptazione ed hashing risulti impercettibile all'utente. Il compito non appare facile se si pensa che i detti tempi devono confrontarsi con le altissime frequenze di trasmissione nelle fibre ottiche (oggi di 40 Gb/s).

Il Web semantico

L'attuale Web è stato progettato e costruito per diffondere l'informazione con documenti fatti in modo da essere letti agevolmente da un essere umano. Ciò è stato ottenuto con un linguaggio (HTML: HyperText Markup Language) che permette di «marcare» i testi con etichette (tags) che specificano intestazioni di varie dimensioni, paragrafi, a capo, in corsivo, in sottolineato, ecc. È possibile inoltre inserire figure, creare tabelle e, soprattutto, inserire riferimenti ipertestuali per ottenere, appunto, un ipertesto. HTML è un linguaggio semplice e di facile uso e permette di ottenere un gradevole aspetto grafico dei testi.

HTML è stato ottenuto come applicazione di un linguaggio, sempre di marcature dei testi, molto più potente e versatile (SGML - Standard Generalized Markup Language, di origine IBM). Tale linguaggio, concepito prima dell'avvento di Internet ed utilizzabile solo su grandi calcolatori, permette una marcatura libera, che può essere usata per esprimere il significato sia del documento complessivo sia delle sue parti: per tale motivo tale marcatura può essere chiamata «semantica».

Un nuovo linguaggio, derivato da SGML e del quale conserva gran parte delle proprietà, eseguibile, come HTML, anche sui normali PC, è XML (eXtensible Markup Language).

XML permette dunque di marcare un testo con etichette scelte arbitrariamente (anche se presumibilmente suggerite dal significato delle espressioni) e non più necessariamente dettate dalla grafica del documento stesso. Si ha così un documento ancora strutturato ma che manca, per una sua elaborazione semantica, di regole logiche. Queste possono essere espresse da un ulteriore linguaggio, RDF (Resource Description Framework) che permette di esprimere il significato di termini e concetti in una forma facilmente eseguibile dal calcolatore. Vengono inoltre definite, coi suddetti linguaggi, le *ontologie* come collezioni di istruzioni scritte in RDF. Si costruiscono poi gli *agenti* come programmi destinati ad eseguire autonomamente ricerche ed elaborazioni.

Con un tipico agente è così possibile raccogliere e selezionare informazione sul Web, anche con l'ausilio di altri agenti, ottenendo un risultato assolutamente non raggiungibile con il Web tradizionale.

Ciò giustifica lo sforzo di apprendimento richiesto, tenendo anche conto del fatto che gli agenti, che sono programmi, potranno essere utilizzati abitualmente.

LE GRANDI APPLICAZIONI

I Supercomputers

Furono così chiamate le macchine più potenti costruite con la tecnologia capace di offrire la massima possibile velocità di calcolo, senza riguardo al costo, sempre alquanto maggiore di quello delle macchine più diffuse. La costruzione dei supercomputers è giustificata dalla grande importanza nella soluzione di problemi non risolvibili con le macchine «ordinarie». Il tema venne discusso sistematicamente negli USA, sotto l'egida della NSF – National Science Foundation e si formularono alcune «grandi sfide» (challenges), quali: la realizzazione di una «galleria del vento elettronica» per la soluzione dei problemi dell'aerodinamica del volo; le previsioni meteorologiche accurate; il progetto di nuove molecole; ed altre. I primi supercomputers offrivano potenze di calcolo dell'ordine di cento mega-flops (floating point operations per second), ben lontani dalla potenza ritenuta necessaria di un Teraflops (diecimila volte maggiore). Tale valore fu raggiunto pochi anni fa e superato nel Marzo 2002 dalla macchina «NEC Earth Simulator» con oltre 35 Teraflops, subito seguita nel giugno 2002 dalla macchina «IBM-ASCI White» con 12,3 Teraflops.

Ciò ha innescato una competizione tra USA e Giappone (il computer giapponese fu scherzosamente indicato come il «computernik»: si ricordi la gara spaziale USA-URSS iniziata con il satellite artificiale «sputnik»). In USA il Department of Energy ha immediatamente commissionato le due macchine «IBM ASCI Purple» e «IBM Blue Gene/Lite» con le caratteristiche indicate nella tabella che segue.

La società *Intel* inoltre ha reso possibile e stimolato la costruzione di supercomputers «su misura», producendo chips che realizzano potenti Processori, che pos-

I prossimi supercomputers			
2002	IBM ASCI White	12.3 Tflops	simulazione armi nucleari
2002	NEC	5000 processors 35.86 Tflops «computernik»	Earth simulation
2004	IBM ASCI Purple	100 Tflops 12000 Power PC 50 Tbytes main memory 2 PetaBytes disk memory	Simulations
2005	IBM Blue Gene/Lite	130.000 Processors 360 TFlops	Simulations Weather modeling Predicting effects of pollution on climate changes

Nota: al novembre 2004 i nuovi dati risultano essere:
per ASCI-Purple: 75 Tflops
per Blue-fine: 1 Petaflops = 1.000 Tflops.

sono essere raggruppati in gruppi («clusters») nel numero necessario tramite una LAN (Local Area Network). Il software necessario è disponibile nella forma «open» (il sistema operativo è il «Linux» citato prima). Si noti che anche i supercomputers della tabella sono basati su una architettura a «cluster» di microprocessori.

Il microprocessore della *Intel* più utilizzato in tali applicazioni è l'*Itanium 2* con le seguenti caratteristiche.

- 6 unità di calcolo per numeri interi, 2 per numeri floating point;
- 64 bits per gli indirizzi (perciò un grande spazio di indirizzamento);
- 3 Mega Bytes di memoria locale;
- I/O bus a 128bits (6.4 Gbits/sec);
- 6 istruzioni per ciclo.

Supercomputers e ... giocattoli (anzi, ottenuti da giocattoli)

Una recente notizia dal Supercomputer Center della Università di Urbana-Champaign (IL) informa che un gruppo di ricercatori ha costruito un supercomputer componendolo con numerose «Playstations» (nel caso, Sony). Il costo, dell'ordine di 50.000 \$, è una piccola frazione del costo di un «normale supercomputer». Come mai? È ben noto che le moderne (2° generazione) playstations sono dotate di grafica raffinata, ottenuta tramite uno speciale microprocessore dotato di

considerevole potenza di calcolo (uso di numeri in floating point, calcolo vettoriale). Tale microprocessore è in grado di ospitare un sistema operativo Linux, con ciò potendo subito funzionare in una LAN e potendo così costituire potenti clusters, come i supercomputers di cui si è prima detto. Alcuni «punti deboli»: il floating point non corrisponde alle norme IEEE, la banda passante della interfaccia di collegamento non è adeguata. I ricercatori citati ritengono di poter porre rimedio a tali difetti: il costruttore accetterebbe di adottare le correzioni nella successiva 3^o generazione. Il chip risultante potrà essere prodotto o costi ridotti (perché prodotto in gran numero) e potrà essere anche usato per applicazioni di calcolo vere e proprie come componente di supercomputers a cluster.

THE GRID: IL NUOVO INTERNET

Il «grid» [1] (che indica correntemente la rete di generazione-trasporto-distribuzione dell'energia elettrica, che ciascun utente utilizza al tempo voluto e nella quantità voluta) consiste in una rete informatica di tipo nuovo (che non sostituisce ma si aggiunge ad Internet) e che si caratterizza per l'impiego di potenti supercomputers, di linee di trasmissione a grandissima capacità, di strumenti scientifici capaci di produrre grandi quantità di informazioni, di centri specializzati per la visualizzazione dei complessi risultati dei calcoli. Inoltre, la rete sarà dotata della capacità di mettere a disposizione degli utenti, per i tempi desiderati, le risorse necessarie per l'esecuzione delle elaborazioni volute. È allora evidente l'analogia con le reti di energia elettrica che giustifica l'adozione del nome Grid.

Il concetto di GRID è nato nell'ambito del CERN (Ginevra) ove se ne è prevista la necessità per la prossima entrata in funzione del nuovo acceleratore (LHD-Large Hadron Collider): esso produrrà nel corso di ciascun esperimento, un fiume ininterrotto di dati che dovranno essere trasmessi ai centri di ricerca che lo hanno progettato, per esservi elaborati.

Il concetto si è rapidamente esteso a molti altri settori scientifici dando origine a varie Grids.

La «*Teragrid*» [4] è in via di completamento negli USA. La rete di connessione è rappresentata nell'fig. 4 e si caratterizza per un «backbone» realizzato con fibre a 40 Gbis/sec che connette i siti con le macchine più importanti. Teragrid copre gran parte delle università e centri di ricerca. In essa è inoltre previsto l'uso sistematico di «clusters» di Itanium 2 (sopra descritto). La National Science Foundation agisce (dal 1997) col programma PACI tramite due organismi: la National Computational Science Alliance, con base nel National Center for Supercomputing Applications (NCSA) in Urbana-Champaign (IL) e la National Partnership for Advanced Computational Infrastructure (NPACI) con base nel San Diego Supercomputer Center (SDSC). PACI si propone la costruzione un'infrastruttura computazionale e informativa per una ricerca di largo respiro ed aperta a tutti i campi della scienza e dell'ingegneria. NCSA, SDSC ed i loro partners hanno già costruito

molti dei mezzi (tools) necessari per il funzionamento di una infrastruttura a grid per il calcolo distribuito. Tali mezzi includono: il «middle-ware» (cioè il software di rete) come il «Globus toolkit», sistemi per la sicurezza, interfacce per l'accesso alle risorse del grid, applicazioni capaci di funzionare effettivamente in sistemi distribuiti. I partners industriali includono, oltre alla Intel, la IBM (integrazione dei clusters, memorie di massa e software); Oracle (gestione dei database, software per «data mining»); ed altri.

Tra i settori di ricerca interessati si citano: la rilevazione delle onde gravitazionali, la simulazione dei terremoti, l'osservazione digitale dei cieli (telescopi spaziali), la fisica delle alte energie, i sistemi biologici.

In UE è stata sviluppata la rete «GEANT», che connette 3000 istituzioni di ricerca e di insegnamento in oltre 30 paesi, tramite 28 reti nazionali o regionali. Essa è costituita da 9 linee a 10 Gb/s e 11 linee a 2.5 Gb/s. Una più dettagliata informazione può facilmente essere ottenuta sul sito Web della seguente figura, nella quale sono anche illustrati i vari progetti in corso. Le informazioni su ciascuno di essi possono essere ottenute utilizzando i links rispettivi, pure indicati nella figura.

Una nuova infrastruttura per la ricerca della formazione

Lo sviluppo delle Grids ha indotto la National Science Foundation (USA) a pubblicare (Gennaio 2003) il documento: «*Revoluzionizing Science and Engineering through Cyberinfrastructure*», disponibile sul sito www.communitytechnology.org/nsf_ci_report.

Si tratta di un testo corposo (oltre 100 pagine) nel quale vengono esaminate con cura le implicazioni delle Grids per quanto riguarda sia la ricerca come la formazione, formulando anche un piano di sviluppo.

Sembra opportuno, qui, limitarsi a riportare i concetti che sembrano più rilevanti.

- I classici approcci alla ricerca scientifica sono stati: quello teoretico/analitico e quello sperimentale/osservazionale. Occorre oggi aggiungerne un terzo: la simulazione *in silico*.
- Il proposto «ACP-Advanced Cyberinfrastructure Program» è una opportunità che può caratterizzare una generazione nel condurre la rivoluzione nella Scienza e nell'Ingegneria, tramite l'uso coordinato e diffuso della «struttura ciber-informatica».
- Il termine «cyberinfrastructure» indica una rete di Grids: Si noti che già sono attive molte Grids, anche in Europa, che connettono essenzialmente istituti di ricerca. Nella proposta Ciber-infrastruttura se ne prevede l'uso anche industriale e, soprattutto, anche nell'ambito dell'insegnamento. Si prevede anzi che gli stessi curricula si rinnovino nel senso di una maggiore pluri-disciplinarietà.
- Una forte attenzione all'uso industriale è presente in Inghilterra.

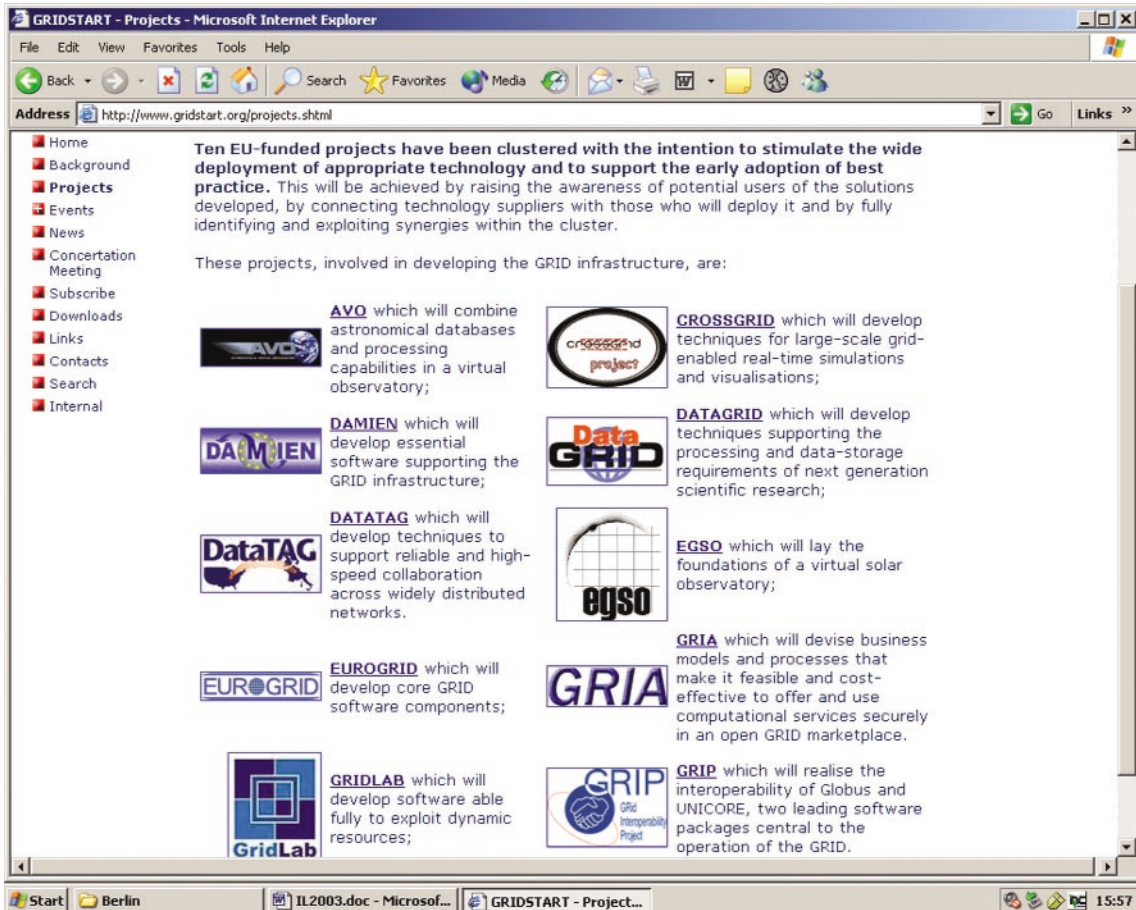


Fig. 5.

Le «scienze computazionali»

Si sono verificati, da pochi anni, in tutto il mondo due fatti distinti ma correlati: da una parte l'emergere in varie discipline di problemi di rilevante importanza sia teorica che applicativa che hanno richiesto la disponibilità di calcolatori sempre più potenti. Molti di tali problemi, inoltre, sono caratterizzati dalla necessità di elaborare masse di dati di dimensione inconsueta, anche come conseguenza dello sviluppo di una strumentazione nuova. Basterà citare il caso della *fisica delle particelle*. Il modello «standard» delle strutture atomiche è troppo complicato per potervi «leggere» i comportamenti che si prestino a verifiche sperimentali: si ricorre perciò a simulazioni («sperimentazioni numeriche») che richiedono grandi potenze di calcolo. La verifica sperimentale ha inoltre condotto allo sviluppo di acceleratori di

particelle capaci di imprimere energie sempre più grandi e dotati (specie gli ultimi in fase di completamento, per es. presso il CERN di Ginevra) di rivelatori capaci di produrre, in ogni esperimento, masse di dati di dimensioni enormi (molti terabytes). Ebbene, i risultati cercati sono contenuti in tali dati: cercarvi però quelli significativi (pochissimi e mescolati ad altri non rilevanti) è peggio che «cercare l'ago in un pagliaio». Non vi è altro mezzo che un calcolatore molto potente. È inoltre necessario memorizzare i dati delle misure in capaci memorie di massa, gestite da altrettanto potenti macchine. Ancora: non è opportuno pensare di accumulare i dati delle misure in un solo posto: appare necessario trasmettere i dati stessi, con linee di capacità trasmissiva adeguata) presso i vari centri, dispersi nel mondo, che hanno progettato e diretto ciascuno dei numerosi esperimenti che si attuano nell'acceleratore.

Un altro caso è dato dai potenti *telescopi spaziali*, che scaricano alle stazioni di terra, i dati delle rilevazioni, che sono continue e numerose; un ulteriore caso è quello delle *rilevazioni meteorologiche*, che potranno migliorare la qualità (oggi considerata inadeguata) anche tramite misure disperse su tutto il territorio. Il progetto giapponese del «modello del pianeta» vuole rappresentare non solo gli aspetti puramente meteorologici, ma tutti gli altri aspetti terrestri e marini, anche per fare intervenire fatti prima non considerati, come gli scambi tra atmosfera e acque oceaniche. Un altro caso ancora è quella dei *dati genomici* che oramai includono, insieme a quelli umani quelli degli altri esseri viventi.

Esistono tutte le condizioni affinché, tramite e nell'ambito delle scienze computazionali, si possa meglio sviluppare una cultura scientifica pluridisciplinare.

RISORSE UMANE E FORMAZIONE

L'evoluzione tecnologica nell'informatica ha già richiesto un adeguamento sia dei curricoli propriamente informatici (per le creazione di adatti specialisti) sia dei curricoli di molte altre discipline che, dato il carattere «trasversale» dell'informatica, hanno pure subito profonde evoluzioni (per forza propria, senza riguardo all'informatica). Un esempio soltanto: la biologia, ritenuta sino a non molti anni fa una scienza basata soprattutto sulla osservazione ed esame degli esseri viventi e poco adatta alle applicazioni della matematica (se non per le elaborazioni statistiche), è profondamente cambiata originando nuove e fiorenti discipline: la biomatematica e la bioinformatica.

P.S. Si segnala che, in data posteriore al Seminario dell'Accademia dei XL (12 Maggio 2004) è stato annunciata la installazione di un supercomputer IBM Blue/Gene/Lite presso l'Ospedale San Raffaele di Milano, per ricerche di genetica.

BIBLIOGRAFIA

(in aggiunta ai Links presenti nel testo)

- [1] Univ. of Edinburgh, *Grid computing: a new technology takes shape*, epcc news, n. 46, summer 2002.
- [2] Picture of the Futures, *The magazine for research and innovation*, pag. 34, Fall 2002.
- [3] Baldi L., Cerofolini Gf, *La legge di Moore e lo sviluppo dei circuiti integrati*, Mondo Digitale, pp. 3-15, Sett. 2002.
- [4] Reed D.A. *Grids, the Teragrid and Beyond*, Computer, pp. 62-68, Jan. 2003.