



**VISUALIZATION IN SCIENTIFIC  
COMPUTING (VISC) STATO  
DELL'ARTE E PROSPETTIVE**

*Rapporto Interno C88-16*

*giugno 1988*

R. Medves  
P. PALAMIDESE  
R. SCOPIGNO

**Visualization in Scientific Computing (ViSC): stato  
dell'arte e prospettive**

R. Medves  
P. Palamidese  
R. Scopigno

Rapporto interno C88-16

## Introduzione

### Cos'è la visualizzazione ?

#### Quali problemi risolve la visualizzazione ?

Esaminare grosse quantità di dati

Comunicare ad altri i risultati

Guidare il programma di calcolo

#### Suggerimenti per un piano di sviluppo VISC

Tool-users: necessita' a breve termine

Tool-users: necessita' a lungo termine

Tool-makers: esigenze a breve termine

Tool-makers: esigenze a lungo termine

#### Potenzialita' a breve termine

##### Strutture dati

Superfici

Voxels

Dati multidimensionali

##### Software: modellazione per superfici

Definizione

Costruzione

Restituzione

Disegno

##### Software: funzioni

Linee

Superfici poligonali

Patches

Elaborazione di immagini

Animazione

Funzioni di gestione

Windowing

Visualizzazione di volumi

## **Hardware: supercalcolatori e workstations**

- Dispositivi di input
  - Sensori, cineprese, computers
  - Dispositivi interattivi
- Dispositivi di output
  - Displays raster
  - Displays stereo
  - Registratori
- Workstations
  - Vector machines
  - Surface machines
  - Image processing machines

## **Modelli di sviluppo**

- Fasi dello sviluppo
  - Nei centri di supercalcolo
  - Nei centri di calcolo convenzionale
  - Nei laboratori

Reti di trasmissione

## **Obiettivi a lungo termine**

### **Comunicazione dei risultati scientifici**

#### **Interfaccia uomo/computer**

- Prototipazione rapida
- Monitoraggio grafico
- Programmazione per livelli di astrazione

#### **Grafica e immagini in ambiente di rete (Televisualization)**

- Velocita' di trasmissione dati
- Funzioni ai nodi
- Protocolli di rete

#### **Software**

- Livello di gestione base dati e dati sorgente
- Livello del modello
- Livello della restituzione
- Livello del disegno
- Interattivita'
- Ambiente distribuito
- Altri problemi

#### **Hardware**

- Tecnologia hardware
- Image computers e superimage computers
- Memorie di massa

#### **Standards**

- Considerazioni su visualizzazione e standards

#### **Conclusioni**

## Introduzione

Nell'ottobre del 1986 la National Science Foundation (NSF) americana sponsorizzò una commissione di studio, *Panel on Graphics, Image Processing and Workstation*, che aveva come scopo primario quello di fornire suggerimenti e consigli alla *Division of Advanced Scientific Computing* dell'NSF su come coordinare l'acquisto di attrezzature hardware e software grafiche per i centri di ricerca, le università e soprattutto i centri di supercalcolo.

Da un primo esame dei sistemi disponibili emersero alcune indicazioni:

- i sistemi esistenti non erano adatti in tutto e per tutto alle esigenze della scienza
- l'applicazione delle tecniche grafiche e di quelle di elaborazione delle immagini al calcolo scientifico si presentava come una nuova disciplina che i membri della commissione chiamarono *Visualization in Scientific Computing (ViSC)*.
- l'NSF doveva organizzare un workshop specifico con altri enti interessati per definire lo stato dell'arte in questo campo e alcune linee guida di sviluppo
- l'NSF doveva stabilire una propria iniziativa di ricerca nel campo *ViSC*

Il *Workshop on Visualization in Scientific Computing* si tenne nel febbraio 1987 a Washington presso la sede dell'NSF. In questa occasione vennero presentati e discussi i seguenti aspetti:

- gli interessi e le esigenze della ricerca scientifica in varie discipline
- le tecnologie emergenti per i sistemi grafici
- lo stato dell'arte della ricerca nel settore animazione
- l'avanzamento della ricerca in Giappone nel campo della visualizzazione
- una rivista dei prodotti commerciali

I risultati di questi lavori sono documentati in un rapporto edito dall'ACM SIGGRAPH(\*) e in alcune videocassette.

In questa nota interna, prendendo spunto da tale rapporto, ci proponiamo, seguendone la falsariga, di esprimere la nostra esperienza nel settore, di discutere il concetto di visualizzazione nel Calcolo Scientifico facendo il punto della situazione e cercando di calare le considerazioni sulla realtà italiana, con lo scopo di contribuire a diffondere anche presso la comunità scientifica nazionale l'idea della visualizzazione dei dati scientifici, specialmente in forma tridimensionale e di animazioni, come strumento potente e flessibile per la realizzazione, l'interpretazione e la documentazione di esperimenti e ricerche.

(\*) Mc Cormick, B.H. et al. (ed.), *Visualization in Scientific Computing*, Computer Graphics 21, 6 (November 1987), ACM SIGGRAPH: New York

## Cos'è la Visualizzazione?

La visualizzazione è fondamentalmente un tipo di calcolo. Più in generale, è però un insieme di processi che permettono di trasformare entità simboliche in entità geometriche rappresentabili in modo grafico: come vedremo infatti nel seguito, questi processi comprendono sia fasi di calcolo vero e proprio che fasi di archiviazione di dati, di riproduzione grafica su particolari dispositivi e di trasferimento via reti tra i vari processori interessati. In alcuni settori l'uso della visualizzazione sta già rivoluzionando il modo in cui viene condotta l'indagine scientifica, consentendo ad esempio di osservare particolari che sfuggono nella mole di dati numerici a disposizione o di intervenire in maniera interattiva nel processo che si sta svolgendo.

Diverse tecniche grafiche, che si sono sviluppate spesso indipendentemente le une dalle altre, confluiscono tutte in questa nuova disciplina. Elenchiamo in particolare:

- Computer graphics
- Image processing
- Computer vision
- Computer-aided design
- Signal processing
- User interface

## Quali problemi risolve la visualizzazione?

I sistemi di visualizzazione hanno la loro grande utilità quando lo scienziato ha bisogno di: *esaminare grosse quantità di dati, comunicare ad altri i risultati, guidare il programma di calcolo.*

### Esaminare grosse quantità di dati

I dati da esaminare possono provenire, spesso in grandi quantità, da una molteplicità di sorgenti:

- Supercalcolatori
- Satelliti che inviano informazioni sulle risorse terrestri, militari, meteorologiche, astronomiche
- Navicelle spaziali che inviano informazioni planetarie o interplanetarie
- Strumenti di rilevamento di dati geofisici come temperatura degli oceani, caratteristiche del fondo degli oceani, movimento delle zolle terrestri, dati sismici, vulcani
- Scanners medici diversi (tomografia assiale o risonanza magnetica)
- Etc.

Nel prossimo futuro questi dati non potranno fare altro che aumentare. I supercalcolatori passeranno da potenze di calcolo di 0.1-1.0 Gigaflops (floating point operations per second) a 1-10 Gigaflops. Gli strumenti di rilevazione avranno risoluzioni sempre maggiori.

L'esame di questi dati in forma numerica rischia di non essere efficiente e molti dati potrebbero essere sprecati perché sarebbe materialmente impossibile analizzarli.

### Comunicare ad altri i risultati

Se consideriamo la visualizzazione come un'altro tipo di linguaggio, appare evidente la sua utilità come mezzo per comunicare informazioni in un modo sintetico. In alcuni casi è addirittura problematico presentare informazioni e risultati sotto altra forma. Si pensi a modelli molecolari, immagini mediche, simulazioni di volo o di flusso di fluidi.

### Guidare il programma di calcolo

I ricercatori vogliono analizzare i dati intermedi di un grosso calcolo per poter modificare il flusso del programma in caso di anomalie, di errori di calcolo, modificando magari i parametri di una simulazione per tentare nuove ipotesi. Ancora oggi nei centri di supercalcolo il modo tradizionale di lavoro è di tipo sequenziale (batch): calcolo, disegno dei risultati, registrazione su carta o supporto magnetico.

Un esempio di interazione sofisticata e' un simulatore di volo o di navigazione dove l'utente guida, attraverso l'interazione visiva, il calcolo.

I sistemi disponibili oggi consentono di risolvere tutti questi problemi?

La tecnologia attuale offre diversi strumenti per la grafica: alcuni sono gia' disponibili sul mercato, altri hanno bisogno di essere ulteriormente sviluppati ed altri rappresentano ancora aree di ricerca e sperimentazione.

In genere gli strumenti disponibili ora sul mercato sono stati sviluppati per la progettazione industriale, la stampa elettronica, l'automazione della produzione, l'industria cinematografica o televisiva. Gli scienziati e il mondo accademico hanno sfruttato abbastanza poco queste tecnologie per le proprie esigenze, anche perche' non sempre gli strumenti di oggi rispondono alle necessita' delle specifiche discipline.

Da queste considerazioni scaturisce la raccomandazione a promuovere la ricerca e lo sviluppo di nuovi strumenti in campo ViSC.

La situazione descritta nel rapporto ACM si puo' riportare anche alla situazione italiana: non e' ancora diffusa una mentalita' tale da ritenere la visualizzazione scientifica utile, se non indispensabile, alla migliore comprensione di molti fenomeni, da un lato perche', in ogni campo, e' sempre difficile inserire delle tecniche innovative rispetto alle abitudini ormai consolidate, in secondo luogo perche' gli attuali elaboratori, supercalcolatori compresi, privilegiano ancora piu' il calcolo numerico e (ma solo da poco) il trattamento di testi in forma di qualita', ma non ancora l'aspetto piu' proprio di "elaborazione grafica" e infine perche' la mancanza di uno standard nelle applicazioni grafiche e di visualizzazione porta alla nascita di un certo numero di prodotti (HW, SW) incompatibili tra loro e in continua fase di sviluppo con una conseguente mancanza di stabilita' e di chiarezza, che contribuisce non poco a determinare un certo senso di timore in chi si accinge a interpretare i propri dati numerici.

A cio' bisogna aggiungere anche una certa "complessita'" nell'utilizzo di tali tecniche grafiche, diretta conseguenza della fase di sviluppo che stiamo vivendo, che porta la necessita' di una stretta collaborazione tra scienziato ed esperto grafico in modo da integrare le conoscenze nei due settori: quello dei dati da visualizzare e quello delle modalita' per visualizzarli.

Naturalmente il superamento di queste difficolta' sta da una parte nel continuo miglioramento tecnico (HW e SW) dei prodotti disponibili, che porta anche ad un non trascurabile, abbassamento dei costi, e da un'altra parte nel capire i grossi vantaggi che offre una rappresentazione visiva e interattiva del fenomeno.

## Suggerimenti per un piano di sviluppo VISC

La diffusione delle tecniche di visualizzazione va incoraggiata sia tra gli utenti (Tool users) che tra coloro che studiano e sviluppano i sistemi di visualizzazione (Tool makers), mostrando agli uni i vantaggi che la visualizzazione offre in campo scientifico e suggerendo di considerare le attrezzature di visualizzazione sullo stesso piano prioritario di quelle di calcolo, e spingendo sugli altri perché la ricerca e lo sviluppo portino alla creazione di un ambiente di visualizzazione efficace.

### **Tool-users: necessita' a breve termine**

La comunità scientifica sta investendo risorse per acquisire strumenti di calcolo sempre più potenti, ma scarsa è in genere l'attenzione per l'acquisizione di attrezzature adeguate alla visualizzazione. Una workstation per ogni ricercatore dovrebbe essere la politica di sviluppo a breve termine. I grossi centri di calcolo dovrebbero attrezzarsi con strumenti grafici più potenti e sofisticati.

Il finanziamento per potenziare le risorse grafiche dovrebbe essere considerato importante allo stesso livello di quello per l'aumento della memoria, dei dischi e dei collegamenti via rete e delle altre attrezzature tradizionali di calcolo.

### **Tool-users: necessita' a lungo termine**

La ricerca scientifica ha bisogno di strumenti di visualizzazione adeguati alle sue specifiche necessità. L'uso di sistemi sviluppati per soddisfare esigenze di mercato preesistenti, rende la ricerca meno competitiva, perché supportata da mezzi non adeguati. D'altra parte i costi di sistemi hardware e software sono tanto più bassi quanto più larga è la loro base di mercato. Mentre il costo dell'hardware è comunque destinato a diminuire con la diffusione sempre maggiore di chips specializzati, il costo del software è unicamente basato sul numero di utenti, che, nel caso specifico dell'ambiente accademico e di ricerca, non costituiscono una grossa base. È pertanto difficile che il settore privato sia interessato allo sviluppo di sistemi grafici di frontiera.

Perciò per promuovere la realizzazione di software di visualizzazione adatto alla scienza è necessario uno sforzo interdisciplinare di ricercatori e esperti di visualizzazione.

Gli scienziati e gli ingegneri hanno bisogno degli esperti di visualizzazione per trovare la maniera più conveniente di rappresentare i loro dati, mentre questi ultimi hanno bisogno di interagire con i ricercatori per capire quali sono le informazioni essenziali che servono a comprendere meglio un determinato problema scientifico.

Sono auspicabili pertanto gruppi di ricerca interdisciplinari per garantire che gli sviluppi delle tecniche di visualizzazione vadano nella direzione di risolvere problemi reali. I sistemi realizzati in questo modo potranno essere scambiati all'interno della comunità scientifica che opera nella stessa area disciplinare o potranno essere trasferiti ad altre discipline.

Allo scopo di diffondere l'importanza della visualizzazione e creare una nuova mentalità, è utile anche la diffusione, oltre che dei risultati scientifici propri di una disciplina, anche della documentazione e delle informazioni sul software di visualizzazione sviluppato per risolvere uno specifico problema.

### **Tool-makers: esigenze a breve termine**

Nel breve termine non ci sono particolari obiettivi da raggiungere in quanto sarebbe sufficiente che la comunità scientifica fosse sensibilizzata al problema e cominciasse ad usare gli strumenti che si trovano sul mercato.

### **Tool-makers: esigenze a lungo termine**

L'obiettivo principale è l'introduzione, nei sistemi di visualizzazione, della possibilità di *guidare* il programma di calcolo in modo interattivo attraverso visualizzazione e analisi dei risultati intermedi di una elaborazione.

Per raggiungere questo obiettivo è necessario promuovere lo sviluppo di questi temi:

- Guida interattiva delle simulazioni e dei calcoli
- Uso di supercomputer tramite workstations
- Ambiente di programmazione orientato alla grafica
- Visualizzazione dinamica di campi e flussi
- Reti e protocolli di rete a larga banda ad alta velocità per trasferire immagini
- Gestione grosse quantità di dati per applicazioni che processano segnali e immagini
- Algoritmi per grafica e immagini vettorizzati e parallelizzati
- Architetture specializzate per grafica e immagini
- Linee guida per la definizione di standard internazionali per software e hardware di visualizzazione

Un particolare impegno pertanto va messo nello sviluppo di questi sistemi, per incoraggiarne la documentazione, il mantenimento ed in particolare per spingere i produttori a risolvere i colli di bottiglia rappresentati da interfacce utente e velocità di trasmissione dei dati.

## Potenzialita' a breve termine

Per avere una idea concreta di quelle che sono le possibilita' offerte al momento attuale o a breve termine dalla visualizzazione, e' necessario esaminare gli strumenti che vengono messi a disposizione dalla tecnologia e le tendenze di sviluppo emergenti.

Per chiarezza e' conveniente distinguere questi settori:

- strutture dati e software
- attrezzature hardware
- ambienti di sviluppo per la visualizzazione
- reti di trasmissione

### Strutture dati

I tipi di dati che interessano la visualizzazione possono essere distinti brutalmente tra dati bidimensionali (2D) e multidimensionali, dove il caso 3D e' il piu' comune.

I dati 2D sono spesso rappresentati sotto forma di grafici di due variabili e possono trarre vantaggio dall'uso del colore. Vengono memorizzati come vettori o matrici di *pixels* (picture elements) senza bisogno di una particolare struttura.

I dati 3D possono essere rappresentati sotto forma di superfici oppure di voxels (volume elements). Le superfici sono un tipo di rappresentazione usata da diversi anni (dai primi anni 70) ed hanno trovato larga diffusione nel CAD/CAM, mentre i voxels sono apparsi in letteratura solo alla meta' degli anni 70 per gestire soprattutto immagini mediche. Le superfici 3D sono memorizzate come programmi e non come matrici di pixels per ovvie questioni di memoria e per mantenere una struttura descrittiva complessa da cui ricavare piu' viste di un oggetto; e' chiaro che questo porta ad un aumento dei tempi di elaborazione per la creazione e visualizzazione dell'immagine voluta.

### Superfici

La restituzione grafica di un oggetto descritto tramite un modello di superfici 3D prende il nome di *rendering*. Questa operazione e' piuttosto onerosa e, a seconda della complessita' dell'oggetto e dell'assistenza o meno di hardware specializzato, puo' essere eseguita in tempo reale o richiedere tempi piu' lunghi, talvolta anche di ore pur su macchine veloci. Modelli di superfici possono essere costruiti e restituiti graficamente mediante stazioni di lavoro o supercalcolatori. Come distribuire il calcolo, se sfruttare maggiormente il supercalcolatore o la workstation, dipende da considerazioni di velocita' e costi.

Un altro aspetto complesso e' la quantita' di dati da memorizzare quando l'immagine non e' generata sinteticamente. Quando si usano strutture sintetiche la quantita' di dati da memorizzare e' drasticamente ridotta, perche' solo il programma di generazione e la struttura descrittiva dell'oggetto sono presenti in memoria. Nel caso invece che i dati siano sottoforma di immagini non compresse, ad esempio perche' provenienti da digitalizzazioni, si possono avere occupazioni di memoria da 256KB (512x512 con 8 piani di memoria) a 24MB (2048x2048 con 36 piani di memoria piu' 12 bits di

informazioni varie). Se si usa qualche tecnica di compressione dell'immagine si puo' diminuire l'occupazione di memoria anche del 90%.

### Voxels

Esaminiamo ora i problemi associati alla rappresentazione *voxels*. Questi dati che possono provenire per esempio da scanners medici o da sensori sismici, possono avere bisogno di grosse quantita' di calcolo e di operazioni di trasferimento. Il solo calcolo del colore di un oggetto di  $512 \times 512 \times 512$  voxels, anche alla velocita' di un ciclo di memoria per voxel, richiede piu' di 134 milioni di cicli. Processi reali spesso richiedono però fino a 1000 cicli/voxel, quantità che comporta un tempo di calcolo per immagine estremamente elevato anche per un supercomputer dedicato.

Per quanto riguarda la memorizzazione si prevede di passare dagli attuali  $256 \times 256 \times 256$  voxels ai futuri  $1024 \times 1024 \times 1024$  voxels, che richiederanno una capacita' di memorizzazione due ordini di grandezza superiore a quella attuale.

### Dati multidimensionali

Sono rappresentati da funzioni di piu' di due parametri e possono derivare per esempio da sensori. Un metodo tipico di visualizzazione e' quello di selezionare sezioni piane o considerare proiezioni su piani definiti dall'utente, mentre un approccio piu' interessante si avvale di tecniche sviluppate nell'ambito del pattern recognition e consente di selezionare automaticamente la sezione tridimensionale piu' adatta da utilizzare nella visualizzazione.

Il colore e' molto utile nella rappresentazione di dati multidimensionali. Spesso si vogliono rappresentare non i dati nel loro complesso ma dati ricavati dai primi mediante tecniche di *image processing*. Ad esempio:

- trasformazioni lineari, come trasformazioni di Fourier
- trasformazioni geometriche, come rotazioni, scalature, proiezioni
- filtri
- derivate, per estrarre o migliorare spigoli e contorni
- mappe tematiche
- segmentazioni varie applicate ai dati

### Software: modellazione per superfici

In questo paragrafo, che si riferisce alle potenzialita' a breve termine, si tratta solo la modellazione per superfici, mentre viene tralasciata la modellazione per volumi, in quanto e' un settore in pieno sviluppo di cui si puo' parlare solo con prospettive a piu' lungo termine.

Il software per la visualizzazione attualmente disponibile copre queste funzioni: definizione del modello (*defining*), costruzione (*constructing*), restituzione (*rendering*), disegno (*displaying*).

#### definizione

definire un modello significa costruire una base dati di oggetti. Il dato puo' essere definito mediante primitive geometriche in una base grafica o attraverso uno schema in una base della conoscenza.

#### costruzione

la costruzione implica una fase di calcolo intensivo ed e' qui che la potenza di un supercalcolatore e' maggiormente necessaria. Se il dato e' definito tramite linee e punti il programma costruisce (fase di *simulazione*) il modello descritto (esempio simulazione del flusso del vento sull'ala di un aereo); se il

dato e' una immagine il programma estrae nuove immagini o altri dati numerici (fase di *analisi*) (esempio analisi del carico su una nuova parte di automobile).

#### restituzione

indipendentemente dal come i dati sono memorizzati, il software produce immagini con attributi di colore, rimozione di superfici, illuminazione, attributi di superficie. Questa parte di calcolo e' intensiva e puo' essere eseguita sia su supercomputers che su stazioni di lavoro specializzate.

#### disegno

questo software contiene sostanzialmente i *device drivers* e gestisce le operazioni di I/O su stazioni di lavoro; accetta l'input dall'utente e presenta sulla superficie di output l'immagine generata per essere vista o per essere registrata in qualche modo permanente.

### Software: funzioni

#### linee

i principi teorici per il disegno di linee sono stati ampiamente sviluppati agli albori della grafica e sono descritti in molti testi. Coordinate omogenee, trasformazioni di visualizzazione, proiezioni di oggetti 3D sul piano sono operazioni ora realizzate anche ad hardware. In particolare l'industria del CAD/CAM ha utilizzato ampiamente questo livello di software. La rappresentazione di superfici mediante linee e' spesso usata e splines, poligoni, patches sono comunemente disponibili nei software di tipo vettoriale.

#### superfici poligonali

questo livello di software e' stato messo in hardware solo recentemente. Operazioni di *tiling* o di *filling* si trovano normalmente in hardware e software cosi' come la rimozione delle superfici nascoste. Alcune volte si possono trovare anti-aliasing e sorgenti luminose per la fase di restituzione, ma si tratta generalmente solo di sorgenti puntiformi a distanza infinita che emettono luce bianca.

#### patches

il successivo livello di sofisticazione del software consiste in superfici curve rappresentate tramite "pezzi" di superfici chiamati *patches*. Questi elementi sono definiti per ora a software mentre la loro apparizione in hardware e' attesa entro breve. I software piu' sofisticati supportano diversi tipi di patches e anche sofisticati modelli di illuminazione per la resa realistica con luci multiple e colorate, situate all'infinito o nella scena. Sono calcolati anche effetti ottici come la trasparenza, translucenza, rifrazione, riflessione. Il calcolo di scene molto complesse puo' richiedere da 30 min a 1 ora e mezzo su un supercomputer.

Esistono anche software a livello di ricerca che hanno capacita' maggiori per realizzare scene di alto realismo visivo con movimento di articolazioni, profondita' di campo, fuoco variabile, radiosita', modelli CSG (Constructive Solid Geometry).

#### elaborazione di immagini

il software per l'elaborazione di immagini ha seguito un percorso separato negli ultimi 15 anni e attualmente sono disponibili diversi prodotti che forniscono funzioni del tipo: convoluzione, trasformate di Fourier, istogrammi, rilevazione e miglioramento di spigoli, riduzione del rumore, segmentazione, etc.

Molte di queste funzioni sono state anche incorporate in speciali schede. Recentemente, con l'avvento di processori molto veloci, il software sta diventando competitivo con l'hardware, quando riesce a mantenere un certo livello di generalita'. I *processori di immagini* (image computers) sono in grado di supportare sia i pacchetti per la grafica che quelli per l'elaborazione di immagini.

#### animazione

e' questo un tipo di software che sta cominciando ora ad essere apprezzato ma che diventera' via via piu' richiesto per la *visualizzazione*. L'animazione che, nel senso piu' generale significa movimento, e' auspicabile per rappresentare processi complessi. Funzioni di base per il controllo dell'animazione dovrebbero far parte di ogni strumento di visualizzazione.

#### funzioni di gestione

esiste un'altra classe di software in genere apprezzata dai professionisti della grafica ma poco nota e usata dagli scienziati. Si tratta di quegli strumenti che permettono di combinare insieme immagini provenienti dai software descritti in precedenza: composizione di disegni, memorizzazione/recupero di disegni, rotazione, scalatura, copia, ridimensionamento, modifica del colore, cambio fonti/testo, correzione a mano....Tutti insieme questi strumenti costituiscono un *ambiente di gestione della visualizzazione* e rappresentano quello che il sistema operativo rappresenta per il calcolo tradizionale.

#### windowing

i sistemi window sono nati e diffusi nella gestione di grafica in bianco e nero ma si stanno estendendo alla gestione del colore. Il software di visualizzazione dovrebbe includere i concetti di base window.

#### visualizzazione di volumi

il software per volumi e' ancora rudimentale e non e' ancora implementato ad hardware. Pur essendoci gia' diversi algoritmi, molto deve essere ancora fatto sul piano della ricerca.

### Hardware: supercalcolatori e workstations

Le quattro fasi del processo di visualizzazione descritte in precedenza (definizione, costruzione, restituzione e disegno del modello) possono essere implementate su processori diversi distribuiti in luoghi diversi.

Un tipo di approccio, *orientato al supercalcolatore*, e' quello di implementare le prime tre fasi su un supercalcolatore adottando un metodo di programmazione batch. Le immagini create sul supercalcolatore vengono piu' tardi disegnate su uno schermo o memorizzate per essere successivamente stampate su supporti vari.

L'approccio *orientato alla stazione di lavoro* vede invece il supercalcolatore solo come lo strumento dedicato al calcolo pesante (fasi di definizione e costruzione), mentre le fasi di restituzione e disegno sono delegate alla stazione dei lavoro. Anche la costruzione del modello potrebbe in realta' essere realizzata sulla stazione o essere divisa tra supercomputer e stazione di lavoro.

## Supercomputer/workstation

	<b>Solo Supercomputer con terminale</b>	<b>Supercomputer/ workstation</b>
Convenienza	Efficace solo con collegamento locale	Consente un efficace controllo da ambiente remoto
Programmazione	L'ambiente e' unico Grafica limitata	Due ambienti di programmaz. spesso diversi Capacita' grafiche ottime
Interattivita' in real-time	Possibile	In locale sulla workstation
Larghezza di banda	Collegamenti molto veloci	Collegamenti su velocita' medie o basse
Costi	Spreco di tempo calcolo sul superc. per calcoli grafici	Con hardware grafico specializzato, costi complessivamente inferiori

L'uso della workstation incoraggia l'*interattività* : per esempio l'utente può cancellare un programma che non sembra fornire buoni risultati o può modificare i parametri del programma per esaminare una situazione leggermente diversa. Le workstations possono essere usate stand-alone o come front-end al supercalcolatore. La larghezza di banda necessaria per trasmettere informazioni relative al modello è sufficientemente bassa rispetto a quella necessaria per trasmettere immagini. Con certe applicazioni è anche possibile pensare ad una interazione diretta con il programma di calcolo sul supercalcolatore, mentre al momento attuale è ancora impensabile una interazione veloce tra la restituzione dell'immagine sul supercomputer e il suo disegno sulla workstation.

Come distribuire il software tra supercalcolatore e workstation dipende dal tipo di vantaggi che si vogliono ottenere. È utile tener presente che:

- le workstations hanno un rapporto costo/prestazioni competitivo rispetto a quello dei supercomputers
- le workstations sono utili per lo sviluppo di modelli nella simulazione
- le workstations possono essere usate per guidare il calcolo effettuato sul supercomputer

#### dispositivi di input

• sensori, telecamere, computers alcune tra le apparecchiature che producono input digitale attualmente disponibili sono: supercomputers, satelliti, scanners medici, rilevatori sismici, macchine fotografiche digitalizzatrici, etc. Ci si aspetta un continuo miglioramento di questi dispositivi in termini di risoluzione e larghezza di banda. Ad esempio i supercomputer diventeranno sempre più veloci e la risoluzione dei satelliti sempre più alta. Già esistono digitalizzatori video che funzionano in tempo reale. I digitalizzatori monocromatici con una risoluzione di 2048x2048 stanno diventando abbastanza veloci anche se non funzionano ancora in tempo reale. Gli scanner per stampe di qualità sono ancora abbastanza costosi ma si prevede che diminuiranno di prezzo con il maturare di una tecnologia più competitiva in questo campo. Gli scanners CCD miglioreranno in risoluzione e diventeranno competitivi.

#### •dispositivi interattivi

I dispositivi 2D interattivi attualmente comprendono: knobs, switches, pedals, mice, tablets. Queste ultime sono le più diffuse e hanno bisogno dei più grossi miglioramenti: più alta risoluzione, maggior velocità e più gradi di libertà.

Sono comparsi i primi dispositivi 3D e quelli 6D. Questi ultimi forniscono le informazioni della posizione 3D più tre informazioni relative all'orientamento (imbardata, beccheggio, rullio). Dovranno migliorare in termini di risoluzione, velocità e costi.

#### dispositivi di output

##### •display raster

un dispositivo raster a colori tipico di oggi offre una risoluzione di 1024x1024 pixel a 60 frames/sec e 24 bits/pixel per il colore (16M colori); grossi miglioramenti sono stati effettuati negli ultimi anni in termini di maggior risoluzione, più colori e meno sfarfallio (flicker).

Si prevede che nei prossimi anni i video raster a colori arriveranno a 2048x2048 pixels superando gli attuali problemi della larghezza di banda necessaria per riempire lo schermo. Attualmente ci sono schermi bianco/nero con risoluzione anche superiore a 2048x2048 pixels.

- display stereoscopici

i primi apparecchi commerciali stanno comparando ora con varie tecniche, la piu' diffusa delle quali prevede l'uso di occhiali polarizzatori: sullo schermo vengono proiettati alternativamente i quadri relativi all'occhio sinistro e destro, creando cosi' l'effetto di profondita'. Si prevede in futuro un miglioramento delle dimensioni dello schermo, risoluzione, luminosita' e affidabilita'. Saranno molto utili per la grafica di volume.

- registratori

gli standard attuali si basano essenzialmente sul 1/2" (VHS) o sul 3/4" (U-MATIC) con le limitazioni dovute a una non perfetta separazione tra luminanza e crominanza del segnale video. Nastri da 3/4" (BVU) o 1" (Ampex) sono estremamente piu' costosi. L'uscita sul mercato dello standard Super VHS (S-VHS) consentira' a breve di superare gli attuali limiti a costi estremamente limitati. Da un altro lato lo sviluppo delle tecniche televisive ad alta definizione (la giapponese HDTV, High Definition Television, e l'europea HD-MAC, Multiplexed Analog Component) spronerà lo sviluppo di registratori compatibili. Questi diventeranno meno costosi con il crescere della competizione tecnologica.

#### workstations

- vector machines

ci sono attualmente macchine molto veloci per settori come il CAD/CAM e il disegno di oggetti 3D in tempo reale. Si sono avuti miglioramenti con l'aggiunta del colore, e di frame buffers per poter combinare al disegno di vettori quello di superfici raster.

- surface machines

macchine veloci stanno per arrivare. Esistono versioni semplificate o macchine speciali con firmware specializzato. Si costruiscono chips per accelerare certe operazioni di restituzione come ad esempio la copertura (piastrellatura o *tiling*) dei poligoni. Per il 1990 ci sarà un completo supporto hardware per la grafica delle superfici con texture mapping, bump mapping, anti-aliasing, riflessioni, trasparenze, ombreggiature.

All'inizio le macchine vettoriali serviranno come front-ends potenti a macchine per superfici. Alla fine le macchine per superfici saranno abbastanza convenienti e veloci da consentire agli utenti di disegnare in tempo reale usando superfici invece di linee.

•image processing machines

da qualche tempo esistono hardware veloci per immagini piane; contengono schede speciali che eseguono alcune funzioni per elaborare immagini, come ad esempio trasformate di Fourier. Stanno per essere approntate versioni piu' veloci con maggior numero di funzioni e maggior risoluzione. Si sta facendo strada il concetto di hardware generale per immagini che implementa qualsiasi algoritmo.

## Modelli di sviluppo della visualizzazione

Attributi	Modello A	Modello B	Modello C
Tipo di hw	Supercomputer o super image computer	Mini-super o image computer	Mini/micro image computer (ws avanzate)
Velocita' di trasmissione	>1Gb/sec	10Mb-100Mb/sec	1Kb-1Mb/sec
Dove l'utente lavora	Sala del computer	Laboratorio connesso con una LAN ad alta velocita'	Laboratorio connesso con rete nazionale/ regionale
Software	Sw applicativo batch	Sw applicativo con qualche interattivita'	Esistono molti sw sia per calcolo scient. che per grafica
	Necessaria ricerca su: programmi interattivi	Necessaria ricerca su: programmi interattivi	Necessaria ricerca su: linguaggi, sistemi operativi, reti
Facilita' per uso risorse	C'e' personale di supporto, ma le risorse sono centra- lizzate	Sistemi orientati a specifiche discipline; poco supporto tecnico	Risorse decentraliz- zate; nessun personale di supporto

### **Modelli di sviluppo**

Osservando come gli scienziati usano la visualizzazione oggi, si possono individuare tre possibili ambienti ciascuno dei quali e' caratterizzato da diversi costi e diverse funzionalita' delle risorse di visualizzazione (vedi figura precedente).

Nel Modello A i supercomputers e i super image computer hanno potenze equivalenti. Questi ultimi, non ancora disponibili commercialmente a parte qualche versione per compiti specifici come simulatori di volo, fornirebbero le capacita' di calcolo per la visualizzazione in tempo reale di volumi.

Nel Modello B si assume che i mini-supercomputers e gli image-computer abbiano la stessa potenza.

Nel Modello C si assume che le workstations avanzate siano equivalenti ai mini/micro image computers.

Si potrebbero considerare anche altri Modelli D, E, F che corrispondono a personal computers, terminali CRT e output di tipo batch. Poiche' non rappresentano un'area avanzata non vengono presi in considerazione. Va comunque osservato che il Modello F e' stato usato per produrre una grande quantita' di animazioni sia scientifiche che commerciali nei passati 20 anni.

Il costo totale per organizzare il Modello A e' circa 100 volte maggiore di quello richiesto per il Modello B che a sua volta costa circa 10 volte piu' del Modello C. Si puo' presumere che i tre modelli possano convivere nel senso che il modello A include il Modello B che include il Modello C.

I centri di supercomputer sono paragonati alle compagnie aeree: la gente non puo' permettersi un aereo personale e cosi' si avvale dei servizi di una compagnia; cosi' come i ricercatori usano potenza di calcolo e costosi mezzi di visualizzazione offerti da centri specializzati.

I centri di calcolo convenzionali sono paragonabili ai mezzi di trasporto pubblici in un ambiente orientato al trasporto per mezzo di automobile: la gente che ha delle esigenze specifiche compra la propria macchina, cosi' come gli scienziati con necessita' tipiche della propria disciplina devono attrezzarsi con propri centri di dimensioni ridotte.

I tre modelli di sviluppo descritti propongono una soluzione centralizzata solo quando non ci sono alternative valide. La decentralizzazione richiede miglioramenti nella documentazione, programmi di istruzione su calcolatore, sviluppo di programmi di utilita' e consulenze.

### Fasi dello sviluppo

In genere si pone scarsa attenzione ai problemi di visualizzazione di qualita' e i finanziamenti per questo non sono sempre adeguati. Esistono pertanto tutta una serie di problemi che dovrebbero essere risolti prima di poter organizzare un ambiente orientato alla visualizzazione.

### Nei centri di supercomputers

L'uso dei supercomputers per la visualizzazione presenta degli svantaggi:

Il sw per la visualizzazione e' quasi inesistente, costoso e di livello basso

Il trasferimento di immagini da supercomputer a workstation e' complesso

I protocolli di trasferimento files su rete non sono stati ottimizzati per trasferire grosse quantita' di dati binari

Le apparecchiature per hardcopy (dischi ottici, registratori video) sono inadeguate

Il tipico sistema operativo per supercomputer e' poco maneggevole: per esempio e' difficile editare files, fare il debugging di programmi, etc.

I centri hanno in genere pochi esperti di grafica

I centri non hanno di solito laboratori adeguati per educare gli utenti

### Nei centri di calcolo convenzionali

I centri hanno in genere pochi esperti di grafica

I centri non hanno di solito laboratori per l'apprendimento

Non sempre i centri hanno software grafico commerciale, a causa del costo spesso elevato

I mainframes sono connessi alle workstations con linee convenzionali che hanno in genere una larghezza di banda troppo bassa per la grafica

Le workstations usano dischi e nastri che non sono accessibili da mini e mainframes rendendo impossibile scambiare dati quando non esistono reti

I centri sono restii ad adottare hardware poco comuni per ragioni di mantenimento

I sistemi operativi su mainframes non sono ottimizzati per la grafica

Il servizio offero puo' venire danneggiato da drivers non sufficientemente provati

### Nei laboratori

Il laboratorio e' in genere il dominio di uno scienziato o un piccolo gruppo di ricercatori che collaborano agli stessi progetti. Lo scienziato in questo caso e' responsabile sia della ricerca che della parte di visualizzazione.

Deve cercare fondi anche per la grafica, cosa non sempre facile

Deve mettere in piedi e mantenere un centro di calcolo autonomo

Deve scrivere il suo software grafico e i drivers

Deve anche trovare il tempo di condurre le sue ricerche scientifiche

Per pubblicare i risultati su un giornale accademico accreditato deve

spendere tempo per ridurre la sua visualizzazione in numeri e simboli

### Reti di trasmissione

Mentre tratteremo piu' diffusamente i problemi relativi alle reti di trasmissione necessarie per il trasferimento di immagini da visualizzare nel capitolo successivo dedicato agli obiettivi a lungo termine, si deve qui accennare che a breve termine c'e' la necessita' che si comincino a

impostare gli studi per la realizzazione di reti, tenendo conto delle emergenti esigenze di grafica.

Oltre al trasferimento di dati numerici e alfanumerici il trasferimento di immagini apre nuove problematiche e richiede nuove risorse.

Esiste in primo luogo il problema di "cosa" si vuole e si deve trasferire, se l'immagine completa o solo il software di generazione, ma in ogni caso e' chiaro che le esigenze a breve termine saranno quelle di reti a banda larga ed alte velocita' per permettere la gestione di immagini in tempi ragionevoli.

## Obiettivi a lungo termine

Nel rapporto ACM si pone l'accento sulla necessita' di costruire, nei prossimi anni, una piu' efficiente rete di collegamento tra gli ambienti scientifici e di ricerca, e di migliorare tutti i possibili sistemi di comunicazione della comunita' scientifica.

In particolare si ritiene necessario sviluppare queste aree tecnologiche:

- comunicazione dei risultati scientifici
- interfacce uomo/computer
- grafica e immagini in ambiente di rete (*televisualization*)
- software
- hardware
- standards

## Comunicazione dei risultati scientifici

Nella tabellina seguente compare l'elenco dei mezzi che l'uomo usa per comunicare. Come si puo' vedere e' stato aggiunto un nuovo linguaggio a quelli piu' tradizionali, la visualizzazione.

Mezzi	Anzianita' (Anni)
Vista	$5 \times 10^8$
Parola	$5 \times 10^6$
Scrittura	$5 \times 10^3$
Stampa	$5 \times 10^2$
Televisione	$5 \times 10^1$
Visualizzazione	$5 \times 10^0$

Coloro che propongono questa lista, mentre manifestano la convinzione che la tecnologia della visualizzazione dovrebbe portare grossi cambiamenti nel modo in cui i risultati scientifici vengono diffusi, osservano anche che, comunque, "nessuno si aspettava che Gutenberg fosse anche Shakespeare". Forse pero' questa volta non ci vorra' cosi' tanto tempo perche' qualche genio sappia sfruttare al meglio questa tecnologia.

Gia' ora certi fenomeni si rappresentano in modo piu' completo attraverso immagini invece che tramite una descrizione testuale. Si prendano ad esempio i modelli molecolari, le immagini mediche, le simulazioni di volo, il comportamento dei fluidi.

La rappresentazione visiva fa sorgere il problema della corrispondenza con la rappresentazione simbolica e quella testuale. C'e' comunque ancora molto da indagare sui tipi di rappresentazioni visive piu' adatte alla descrizione di un fenomeno.

## Interfacce uomo/computer

Gli scienziati hanno poca familiarita' con i piu' avanzati metodi di interazione che, generalmente, non sono usati negli ambienti di calcolo intensivo. Il modo tradizionale di dialogare con il calcolatore, si basa su:

- linguaggi poco flessibili
- compilazione batch
- necessita' di fare, ogni volta, il link dell'intero programma
- programmi non interattivi
- strutture dati limitate a primitive numeriche

A questo stile di programmazione fanno riscontro alcune tecniche tipiche degli ambienti di intelligenza artificiale che sono comunque ancora a stadi iniziali di definizione e necessitano di ulteriori sviluppi e approfondimenti. Si tratta di:

- prototipazione rapida
- monitoraggio grafico
- programmazione per livelli di astrazione

### Prototipazione rapida

In un ambiente di sviluppo opportuno, piccoli pezzi di programma vengono modificati ed eseguiti mediante un linguaggio interpretato. L'editore in questo caso, ha una interfaccia particolarmente potente e il linguaggio viene compilato mediante incrementi successivi.

### Monitoraggio grafico

Attraverso schermi ad alta risoluzione, capaci di contenere diverse finestre con diversi processi, l'utente puo' seguire piu' eventi in tempo reale, apportando correzioni al programma.

### Programmazione per livelli di astrazione

Un metodo moderno per programmare e' quello che consente di nascondere dettagli sui dati e sul programma per esempio attraverso linguaggi che consentono all'utente di definire delle macro. Con questo metodo e' facile aggiungere nuovi requisiti al programma senza modificarne le basi. Quando si gestiscono grafici e immagini si realizza un tipo di programmazione che e' fondamentalmente object-oriented, con tipi di dati che si autodefiniscono.

C'e' la necessita', in futuro, che i dispositivi HW e SW per l'interazione uomo/macchina si facciano molto piu' "amichevoli" (user-friendly) di quanto non lo siano oggi: schermi video a colori ad altissima risoluzione, mouse, tavolette grafiche devono svilupparsi ed aumentare le loro possibilita' per fornire all'utente uno strumento sempre piu' potente di interazione.

### Grafica e immagini in ambiente di rete (televisualization)

Uno degli obiettivi a lungo termine e' l'inserimento della visualizzazione in ambiente di rete. A questo proposito viene introdotto un nuovo termine: *televisualization*.

Attualmente le reti sono realizzate per la trasmissione di pagine alfanumeriche che contengono mediamente 25 righe di 80 caratteri a riga con un contenuto informativo pari a circa 2KB. Va notato che una immagine costituita mediamente da 512x512 pixels (8 bit/pixel) rappresenta una quantita' di informazione pari a 2000KB, circa 1000 volte piu' di una pagina di testo.

Le reti attualmente in uso consentono velocita' che vanno da 2Mb/s (es: rete nazionale ITAPAC) a 10Mb/s (es: Ethernet), insufficienti per trasmettere immagini con velocita' adeguate.

La trasmissione di immagini e' molto piu' complessa della trasmissione di testi. Innanzitutto sarebbero necessari dei protocolli adeguati, in grado di eseguire le operazioni a cui normalmente le immagini sono soggette: *compression*, *decompression*, *rendering*, *recognition*, *interpreting*.

In un ambiente di rete si possono distinguere tre livelli di hardware a cui corrispondono tre livelli di calcolo (vedi figura). *Supercomputer e supermini* supportano il calcolo scientifico avanzato, gli *image computers* preparano l'immagine o estraggono dall'immagine i dati per il computer, mentre le *workstations* presentano il disegno all'utente e gestiscono l'interazione.

Per supportare efficacemente la visualizzazione le reti hanno bisogno di miglioramenti tecnologici in queste aree:

- velocita' di trasmissione dati
- funzioni ai nodi
- protocolli di rete

#### Velocita' di trasmissione dati

Nel futuro l'ambiente di calcolo sara' prevalentemente distribuito, sia perche' il calcolo stesso sara' eseguito su piu' processori paralleli, ma anche perche' piu' utenti in diversi punti collaboreranno via rete.

La trasmissione veloce di immagini richiede canali di comunicazione a piu' larga banda. Attualmente con velocita' dell'ordine dei Gb/s (Giga bit) vengono trasmesse immagini di 256x256x256 pixels con 4Byte/pixel ( $2^8 \times 2^8 \times 2^8 \times 2^2 = 2^{26}$  Bytes =  $2^6 \times 2^{10} \times 2^{10}$  Bytes =  $2^6 \times 1024 \times 1024$  Bytes = 64 MB = 512 Mb). Entro alcuni anni sara' necessario viaggiare sull'ordine di 1GB/s (Giga byte) per trasferire immagini con dimensioni 512x512x512 pixels con 4Bytes/pixel ( $2^9 \times 2^9 \times 2^9 \times 2^2 = 2^{29}$  Bytes =  $2^9 \times 2^{10} \times 2^{10}$  Bytes = 512 MB).

#### Funzioni ai nodi

Poiche' la trasmissione di grosse quantita' di pixels non e' conveniente, e' necessario adottare uno schema in cui ci sia un bilancio ottimale tra i costi di trasmissione e i costi di calcolo locale. Si puo' ritenere pertanto piu' sensato inviare la struttura del modello su un nodo perche' venga sottoposto localmente al processo di restituzione. Con questo metodo vengono ridotti i costi di trasmissione, ma e' implicita l'esistenza di hardware e software adeguato ai nodi e di un maggiore impegno di tempo calcolo. Questo schema implica anche l'esistenza di compatibilita' tra i software che girano su hardware diversi.

#### Protocolli di rete

Un ambiente di televisualizzazione e' analogo al passaggio di messaggi tra livelli diversi di processi che vengono eseguiti su una macchina. Pertanto questo tipo di rete non puo' essere realizzato usando convenzionali chiamate Fortran ma deve essere sviluppato con un software di comunicazione opportuno.

La realizzazione di tale tipo di rete comporta numerosi e grossi problemi:

come si puo' spostare il software sviluppato su una workstation da un certo ambiente ad uno piu' potente?

quali norme di sicurezza si devono adottare perche' gli scienziati possano

inviare tranquillamente i dati alla destinazione voluta?  
la qualita' del risultato scientifico migliora passando da 50 Mb/s a 50 MB/s?  
come va gestito lo scambio di dati tra ricercatori nella stessa disciplina  
distribuiti geograficamente su un vasto territorio?

## Software

Attualmente la definizione di strumenti software e interfacce standard per la soluzione di problemi complessi e' ancora un campo di ricerca aperto.

Analizzando il software esistente si avverte l'esigenza di avere diversi livelli di funzionalita' e potenza. L'approccio a livelli presenta indubbi vantaggi sia in fase di definizione iniziale, quando ciascuno strato puo' essere sviluppato indipendentemente dagli altri, una volta stabilita la definizione delle funzionalita' di ogni strato e dei protocolli per la trasmissione di messaggi tra strati diversi, sia in fase di aggiornamento successivo, quando ciascun strato puo' essere modificato indipendentemente dagli altri, mano a mano che nuove tecniche software o nuovi strumenti compaiono sul mercato. Altri vantaggi derivano dalla possibilita' di poter distribuire ciascuno strato su macchine diverse, ciascuna piu' specializzata per quel particolare tipo di applicazioni o dalla possibilita' di utilizzo, per uno stesso strato, di software piu' o meno sofisticato, e costoso, a seconda dell'applicazione richiesta. Viene proposto un modello funzionale che comprende 4 strati:

- livello gestione base dati e dati sorgente
- livello del modello
- livello di restituzione
- livello del disegno

### livello gestione base dati e dati sorgente

I dati provenienti dal calcolo possono essere memorizzati in una base dati del tipo di quelle gia' presenti sul mercato (DBMS), in sistemi appositi oppure memorizzati in modi usuali. Spesso purtroppo non si tiene conto del modo migliore per memorizzare i dati, limitandoci per pigrizia a registrarli nel modo usuale su supporti magnetici: una ricerca e un accesso ottimale ai dati nelle fasi successive di elaborazione richiederebbe invece una memorizzazione accorta fin dall'inizio.

### livello del modello

Il software di modellazione puo' operare in due modi:  
classificazione: rilevazione dei contorni in immagini 2D (ad esempio curve di livello). La classificazione in voxels di immagini 3D distingue ogni voxels in base alla sua composizione suddividendoli in gruppi secondo caratteristiche omogenee; per esempio nella ricostruzione di un volume proveniente da uno scanning CT (Computed Tomography), i voxels possono essere classificati come grasso, osso, muscolo. La determinazione boundary entro volumi e' un caso speciale di classificazione che determina se un voxel e' interno o esterno ad un'area.

modellazione: i dati estratti dalla base di dati sono descritti come entita' geometriche con i relativi attributi. I principali schemi di rappresentazione sono: a faccette, mediante funzioni, mediante procedure (constructive solid geometry). Il modello viene scelto in base al tipo di dato, la qualita' della restituzione grafica desiderata, i costi di memorizzazione e trasferimento.

### livello della restituzione

La restituzione si applica sia a volumi che a superfici.

restituzione di superfici: questo software accetta geometrie 3D con attributi di superficie e applica i parametri di viewing (illuminazione, orientazione, angolo di vista,...) per produrre un file intermedio (metafile) da inviare al livello di disegno.

volumi: questo software accetta geometrie 3D con attributi sia di superficie che di volume e, applicando i parametri di viewing, produce un metafile.

Il software di restituzione e' molto complesso perche' deve poter accettare vari formati dei dati, fornire restituzioni di diversa qualita' e costo, fornire tecniche interattive a piu' livelli e dare un *background mode* per quegli aspetti di calcolo intensivo come ray-tracing e radiosita'.

### livello del disegno

Contiene essenzialmente i drivers che sono in grado di ricevere metafile 2D e 3D dagli altri livelli e mandarli su un monitor (vector, raster o stereoscopico) o una hardcopy (carta, dischi magnetici, ottici, ecc.).

### Interattivita'

L'aspetto piu' interessante dei sistemi di visualizzazione non sta nella loro capacita' di produrre disegni, magari realistici come fotografie, o nell'animazione che si puo' ricavare come risultato di una simulazione scientifica, ma nella possibilita' che offrono di sviluppare programmi interattivi.

Lo scienziato deve essere messo in grado di vedere subito eventuali errori nel programma e modificare i parametri per correggere o provare nuove teorie. Lo scienziato deve cioe' poter *guidare* il processo.

### Ambiente distribuito

La distribuzione dei vari livelli di complessita' delle funzioni di visualizzazione su hardware disposti in luoghi diversi, consente all'utente di minimizzare i costi di allocazione delle risorse locali. Per esempio solo il livello disegno potrebbe risiedere in locale su una workstation di basso livello costituita essenzialmente da un monitor (8 bits, 24 bit look-up table, RGB monitor) basato su un personal. I livelli non presenti sulla workstation potrebbero risiedere da qualche altra parte su un mainframe o un supercomputer.

L'interattivita' in un ambiente distribuito richiede considerazioni particolari. Il livello *disegno* deve essere capace di ricevere i messaggi di interazione dall'utente e inviarli agli appropriati livelli. Per esempio una richiesta di aggiustamento del contrasto sarebbe gestita dal livello *disegno*, mentre la richiesta di rotazione verrebbe passata al livello *restituzione*.

C'e' inoltre sempre da tener presente, in caso di ambiente distribuito, la necessita' di scambio e trasferimento di dati da un ambiente all'altro, tramite collegamenti di rete.

### Altri problemi

Il software per la visualizzazione comporta alcuni problemi tecnici che non sono di immediata soluzione:

- Non esistono linguaggi ne' sistemi operativi per la visualizzazione. Tutti i grandi sistemi operativi sono ottimizzati per fare calcoli con caratteri e numeri,

a parte quelli usati in ambiente televisivo. I soli sistemi operativi che integrano bene funzioni grafiche sono quelli su personal computer e workstations.

- Il software esistente non può essere vettorizzato o parallelizzato in modo semplice. Gli algoritmi per le immagini fanno grande uso di liste, alberi, e memorie condivise. Devono essere sviluppati nuovi algoritmi.
- La documentazione dei software grafici è costituita da grossi manuali mentre dovrebbe essere più interattiva e visiva.
- Gli standards per la visualizzazione (reali o di fatto) non sono ancora stati definiti, se si escludono GKS e PHIGS (nella loro forma attuale) basati su una tecnologia hardware ormai vecchia, senza funzioni 3D e raster. Si ritiene che lo sviluppo di standards per il software sia prematuro nel prossimo futuro in quanto come tutte le cose innovative è produttiva una prima fase "selvaggia" in cui si sperimentino soluzioni diverse, ma si ritiene anche che sia necessario focalizzare alcuni punti che è necessario e conveniente standardizzare.
- Non esistono protocolli di comunicazione di immagini su rete tra hardware diversi (esistono tra macchine dello stesso tipo).

### Hardware

La visualizzazione è un particolare tipo di calcolo che dovrebbe essere condotto, per ragioni di efficienza, su un hardware specializzato. Da una parte quindi abbiamo il computer centrale con la massima potenza di calcolo che trasmette dati grezzi ai sistemi di visualizzazione i quali eseguono pesanti calcoli specialistici per trasformare i dati in immagini (ad esempio rimozione di superfici nascoste, ray-tracing, etc.).

L'obiettivo a lungo termine è quello di avere immagini disegnate quasi in tempo reale. Ciò richiede alte velocità di trasmissione dei dati dal computer centrale all'hardware di visualizzazione e processori in grado di eseguire tutte le operazioni grafiche per la restituzione di una immagine completa in frazioni di secondo. La ricerca deve fare ancora molto in questi settori.

### tecnologia hardware

La tecnologia ha in serbo molte proposte e sperimentazioni che consentiranno di costruire processori con velocità di calcolo sempre più elevate (computer paralleli, computer ottici, architetture neurali, ecc.).

Uno degli sviluppi più promettenti è l'applicazione della superconduttività a basse temperature che consentirà di costruire chips più densi, e quindi più veloci e economici. Queste tecniche favoriranno lo sviluppo di chips per gestire immagini 3D.

### image computers e superimage computers

Questi computers che gestiscono superfici e volumi sono recenti. Hanno memorie di grosse dimensioni che possono contenere volumi di  $256 \times 256 \times 256$  voxels ed hanno processori molto veloci.

Nei prossimi 5 anni computer paralleli saranno in grado di manipolare volumi quasi in tempo reale. Aumenterà anche la dimensione dei volumi gestibili fino a  $1024 \times 1024 \times 1024$  voxels a 4 B/voxels, cioè  $2^{32}$  o 4 GB di memoria.

La velocità di un image computer è la velocità con cui viene riempita e modificata la memoria raster; il calcolo per generare i dati che dovranno essere

disegnati verra' eseguito su un altro computer come, ad esempio, un supercomputer.

memorie di massa

Le memorie di massa stanno evolvendo per gestire grossi volumi di dati dell'ordine dei GB con velocita' di trasferimento dell'ordine dei MB/s.

La visualizzazione di volumi richiedera' invece memorie sull'ordine dei TB (Tera Bytes) con velocita' di trasferimento dell'ordine di GB/s.

L'aumento della capacita' di memorizzazione e' legata alle tecniche ottiche e l'aumento della velocita' di accesso alla realizzazione di drivers paralleli per la lettura/scrittura.

### Standards

Per quanto possano essere fatte svariate critiche agli standard, ad esempio il fatto che introducono limiti e restrizioni, e' indubbio che uno standard e' assolutamente essenziale alla diffusione e all'uso su grande scala di una tecnologia. Cio' e' particolarmente vero quando si tratta di tecniche di comunicazione.

Facciamo l'esempio del sistema NTSC, standard televisivo americano, che e' stato definito prima dell'avvento del colore; ora il colore vi e' stato adattato a viva forza. Attualmente si sta tentando di definire nuovi standard internazionali, HDTV e HD-MAC, piu' consoni alle caratteristiche del mezzo televisivo attuale.

PostScript e' uno standard di fatto per la rappresentazione di testi in bianco e nero. Essendo molto flessibile e ben definito sembra consentire facilmente l'aggiunta di nuove caratteristiche come ad esempio il colore per le fonti di caratteri o l'uso di fonti 3D.

Come gia' rilevato a proposito del software, si ritiene che sia troppo presto, nel settore della visualizzazione, imporre oggi uno standard, ma puo' essere utile individuare e standardizzare alcune categorie di funzioni in modo che sia i creatori di strumenti che gli utenti possano avanzare nella stessa direzione.

### Considerazioni su visualizzazione e standard

Ci sono molte proposte di standard in discussione, molte delle quali nate alcuni anni fa quando la grafica era di tipo vettoriale e la grafica di superfici sembrava troppo costosa.

In molti centri di ricerca si e' tralasciato di usare questi sistemi perche' troppo restrittivi o antiquati preferendo sviluppare altri sistemi grafici che sono diventati standard solo per l'ambiente in cui sono stati creati. Essi differiscono solo per motivi marginali (come vengono definiti i parametri di viewing, quale sistema di coordinate e' usato, etc...) ma questo basta per rendere impossibile lo scambio di modelli dei dati tra centri diversi.

Negli standards attuali il modo in cui sono rappresentati splines, patches, polygons e' diverso dall'uno all'altro; non sono in grado di gestire modelli avanzati come quelli stocastici o procedurali; non ci sono grosse capacita' per la resa di superfici anche se ora alcune estensioni sono state fatte per colori, luci, ombre, tipi di materiali, o ruvidita' levigatezza della superficie; funzioni per l'animazione sono largamente assenti; trasformazioni diverse da quelle definibili con una matrice 4x4 non sono presenti. La ricerca deve approfondire ancora molto questi aspetti.

Per quanto riguarda la rappresentazione a volumi, non ci sono affatto standard e certamente questa e' un'area in cui c'e' ancora molto da capire.

Un'altra operazione frequente in grafica e' la trasmissione di files di immagini. Non vi e' ancora uno standard per questo, anche se sono stati definiti diversi metodi per comprimere e decomprimere immagini allo scopo di inviarle il piu' velocemente possibile su una rete.

Reti a larga banda richiedono nuovi protocolli adatti alla visualizzazione, ma non ci sono ancora proposte in questo settore. Anzi ogni industria sta cercando di definire il suo proprio standard. Per esempio si discute di protocolli PACS (Picture Archiving and Communication Systems) per immagini mediche. Anche il CAD/CAM ha prodotto diversi tipi di protocolli per lo scambio di disegni. Altri standard esistono per i dati rilevati da sensori o per la stampa. Poca attenzione e' stata prestata alla compatibilita' tra i vari standard industriali.

### **Conclusioni**

I modelli suggeriti per l'utilizzo di hardware, software e reti, dovrebbero servire come indirizzo per lo sviluppo di nuove tecnologie.

Questi modelli devono comunque essere ulteriormente approfonditi per poter fornire indicazioni allo sviluppo di nuove metodologie. In particolare si suggerisce di riflettere su questi punti:

- i progetti di ricerca scientifici, oltre ai risultati intrinseci, dovrebbero documentare le loro metodologie di visualizzazione e renderle note alla comunita' scientifica
- i centri di supercomputer dovrebbero adottare come fatto pratico, uno standard grafico da usarsi con le loro apparecchiature, che potrebbe quindi servire come modello per una standardizzazione nazionale
- la comunita' scientifica stessa dovrebbe incoraggiare lo sviluppo di tecniche di visualizzazione