



Architettura e componenti di un sistema grafico



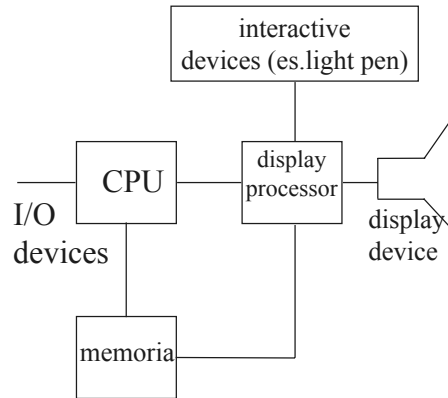
Architettura di base

- Per interfaccia grafica si intende la circuiteria che normalmente comprende: chip grafico, memoria video, vari dispositivi accessori (quarzi, DAC, ecc.) ed almeno un connettore per il collegamento del monitor.
- Spesso si tratta di una scheda inserita all'interno dell'elaboratore; può tuttavia essere integrata sulla piastra sulla quale si trovano tutti i dispositivi di base del sistema (Processore, controller, memoria RAM, ecc.)

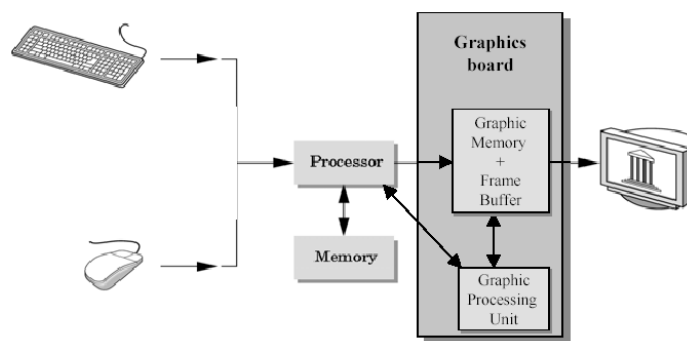


Architettura HW di base

- Architettura di base a livello H/W:
 - il display device è quasi sempre "pilotato" da un processore dedicato in modo da non gravare la CPU.
 - la memoria condivisa tra CPU e display processor contiene i dati da visualizzare.



Architettura HW di base





Frame buffer

- Una porzione di memoria dedicata alla memorizzazione dell'immagine come insieme di pixel da mostrare a video.
- Caratteristiche:
 - Risoluzione (numero di pixel). Range tipici 320x200 <-> 1600x1200
 - Profondità (bit per pixel). Range tipici 1 <-> 32 (128)
- La struttura a matrice del frame buffer riproduce la struttura a maschera del CRT raster (o della matrice LCD).

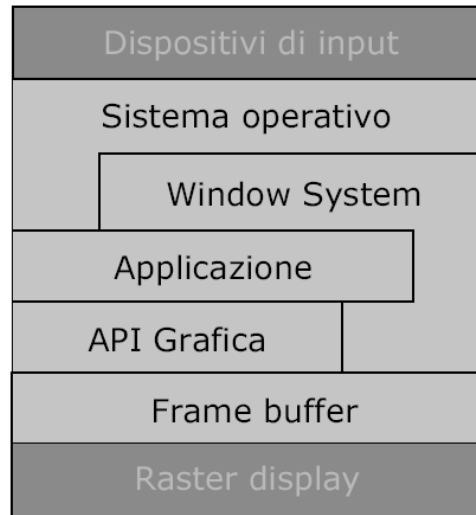


Graphics board

- Una scheda hw dedicata ad elaborare dati grafici e a pilotare il display raster
- Frame buffer: per immagazzinare l'immagine da visualizzare sul display
- Graphics Processing Unit (GPU): per compiere elaborazioni specifiche necessarie per formare l'immagine
- Graphics memory: memoria ausiliaria che la GPU utilizza per compiere tali



Architettura SW di base



Grafica 2D

- Le primitive di uscita sono delle procedure che prendono delle coordinate in ingresso e "invocano" dei particolari algoritmi di visualizzazione per generare su un dispositivo di uscita prescelto le forme volute.
- Le più semplici primitive di visualizzazione servono per disegnare punti e linee. Primitive più complesse possono essere usate per disegnare poligoni, figure curve, caratteri etc.



Grafica 3D

- Creare scene in un mondo virtuale 3D composte da oggetti geometrici con attributi pittorici + immagini e testo.
 - Le scene esistono indipendentemente dal fatto che vengano visualizzate o meno
- Guardare le scene da un dato punto di vista e visualizzare l'immagine corrispondente
- Interagire (virtualmente) con gli oggetti che compongono le scene
- Animare le scene in conseguenza di cambiamenti di:
 - punto di vista
 - cono di vista
 - posizione degli oggetti
 - deformazione degli oggetti



Definizione degli oggetti

- Strumenti per specificare la forma geometrica
 - Primitive geometriche fornite dall'API permettono di specificare un insieme ridotto di geometrie, come punti, spezzate, poligoni, insiemi di poligoni (mesh)
 - Geometrie anche molto complesse si possono descrivere (approssimare) con insiemi formati da molte di queste primitive
- Strumenti per specificare le caratteristiche pittoriche:
 - Colore
 - Spessore, tratteggio, riempimento
 - Trama (texture)
 - Materiale



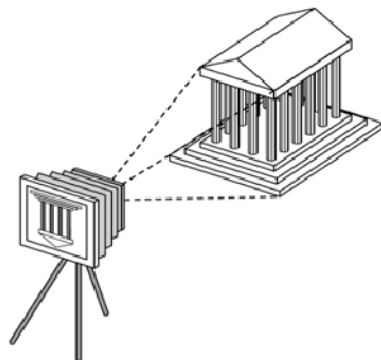
Definizione della scena

- Strumenti per posizionare gli oggetti
 - Trasformazioni geometriche di modellazione
 - Ogni oggetto viene definito in un proprio sistema di coordinate e poi trasportato nel sistema della scena attraverso un opportuno cambio di coordinate
 - Un oggetto può essere utilizzato più volte nella stessa scena posizionandone diverse istanze in posti diversi



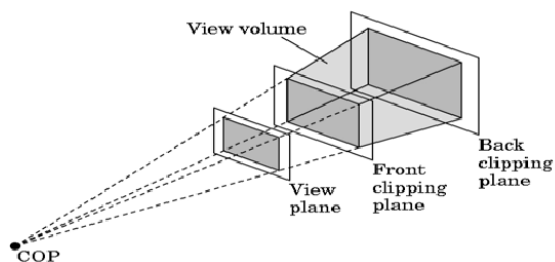
Definizione dell'osservatore

- Punto di vista: il punto da cui l'osservatore guarda la scena
- Direzione di vista: la direzione verso cui guarda
- Distanza focale: definisce la porzione di scena inquadrata



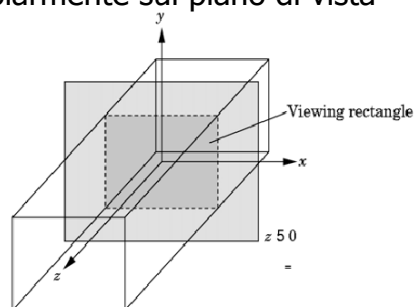
Volume di vista

- La definizione di un osservatore "genera" un volume (frustum) di vista
- Normalmente, ci si aspetta che il volume di vista sia una piramide infinita
 - Per ragioni di praticità, si aggiungono due piani (front and back o near and far) che ulteriormente delimitano lo spazio d'interesse, e quindi il volume di vista è un tronco di piramide



Proiezione ortografica

- In una camera con distanza focale infinita, il volume di vista diventa un parallelepipedo
- Questo genere di vista è detto ortogonale
 - In una proiezione ortografica tutti i punti nel volume di vista vengono semplicemente proiettati perpendicolarmente sul piano di vista





Architettura di un renderer

- Una volta specificati viewer e scena, il renderer si deve incaricare di:
 - Inquadrare la scena secondo il viewer
 - Sintetizzare l'immagine corrispondente
 - Trasferire l'immagine sul frame buffer
- Questo processo viene eseguito a passi attraverso una catena di operazioni elementari

Pipeline di rendering



Architettura di un renderer

- La scena è composta di entità geometriche semplici (primitive) descritte per mezzo di liste di vertici
- L'algoritmo di rendering è strutturato in maniera da disegnare tutte le primitive elaborandone una alla volta (object order)
- Quindi ogni primitiva passa attraverso una sequenza di stadi di elaborazione, in ciascuno dei quali viene sottoposta a determinate operazioni





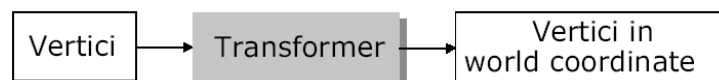
Architettura di un renderer

- Il fatto di strutturare il rendering indipendentemente per primitiva permette di progettare hw grafico che espliciti il parallelismo nei due livelli:
 - Diversi stadi della pipeline eseguiti in parallelo su diverse primitive (parallelismo nella singola pipeline)
 - Diversi gruppi di primitive alimentano diverse pipeline (parallelismo delle diverse pipeline)
- I passi più lenti della pipeline possono essere parallelizzati più massicciamente per bilanciare il carico dei vari stadi



Stadio di trasformazione

- Ogni oggetto nella scena ha, in generale, il proprio sistema di riferimento
- È necessario, prima di tutto, portare tutti i vertici che definiscono le primitive nello stesso sistema di riferimento:
 - quello della scena (world coordinate system)
- Ogni vertice viene sottoposto ad una trasformazione geometrica, che può essere diversa da primitiva a primitiva, ma è identica per tutti i vertici che definiscono una data primitiva.





Stadio di clipping

- A questo punto si può decidere che cosa è visibile e cosa no per il viewer corrente
- Le porzioni di primitiva che stanno fuori dell'inquadratura vengono scartate (si interrompe la pipeline)
- In questa fase si decide anche il colore da dare ad ogni vertice:
 - illuminazione

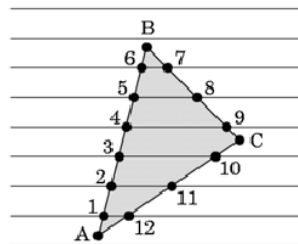


Stadio di proiezione

- I vertici che cadono nel volume di vista vengono proiettati su un'immagine virtuale
- Si calcola la posizione della proiezione di ogni vertice sul piano immagine
- Ogni posizione del piano immagine cade in una cella (pixel) del frame buffer visibile

Stadio di "digitalizzazione della primitiva"

- A questo punto sappiamo in quali posizioni del frame buffer finiscono i vertici di ogni primitiva visibile.
- È necessario trovare tutti i pixel che nel frame buffer sono ricoperti dalla primitiva:
 - questa operazione viene detta rasterizzazione.
- Ciascuno di questi pixel viene colorato con un colore desunto da quelli dati ai vertici secondo una regola stabilita



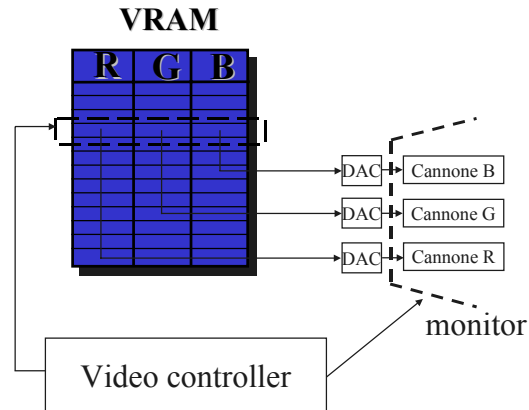
Risultato della pipeline

- Un insieme di pixel (quelli intercettati dalla proiezione delle primitive) vengono colorati opportunamente
- Gli altri restano neri (o di altro colore stabilito)
- In realtà non va proprio così. C'è un altro stadio:
 - I pixel generati dalla rasterizzazione si chiamano frammenti e il loro colore non corrisponde ancora al risultato finale
 - Per ogni frammento si compiono alcune operazioni (per fragment) per deciderne il colore finale
 - Le operazioni per fragment possono tenere conto dell'interazione tra diverse primitive nello spazio di vista e di parecchi altri effetti (tecniche discrete)



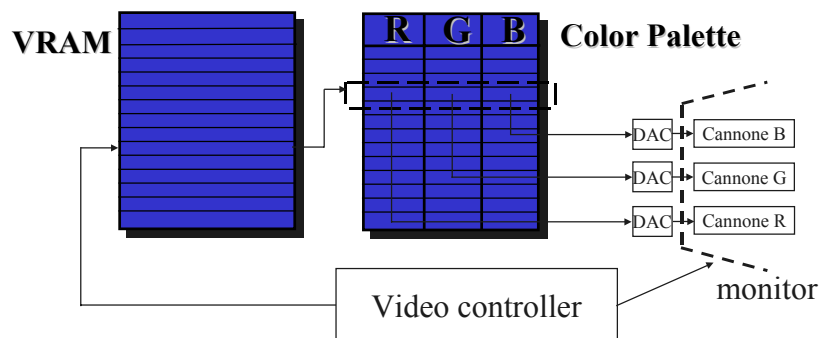
Piani di colore - True Color

- Sedici milioni di colori:
 - ci si può spostare tra un colore e quello successivo con continuità (non si percepiscono salti di colore)



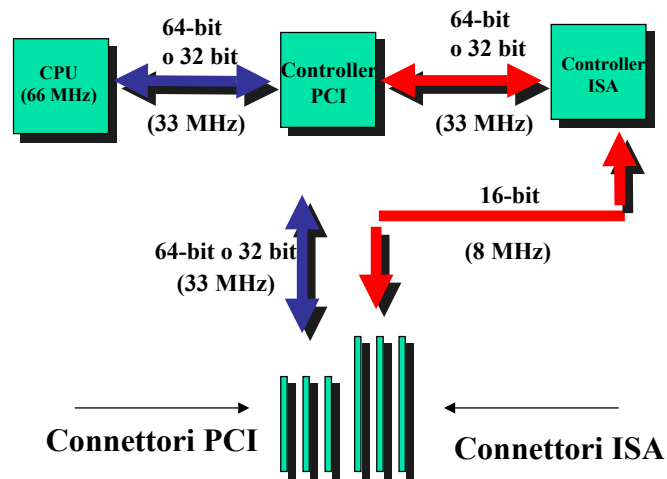
Piani di colore - Color palette

- Si tratta di una tabella dove si trovano 256 voci, ognuna delle quali possiede tre valori uno per il rosso, uno per il verde ed uno per il blu. Numericamente questi tre valori possono variare tra 0 e 255.





Local BUS



Local BUS

- In qualsiasi elaborazione informatica vengono gestite delle informazioni. La velocità globale di elaborazione di queste informazioni dipende da diversi fattori.
- Nel caso specifico dell'elaborazione grafica, la velocità con la quale il processore riesce a colloquiare con l'interfaccia video o, più generalmente con qualunque interfaccia, è un parametro di notevole importanza.



Acceleratori grafici

- Un acceleratore grafico è un processore con compiti definiti e fissi, la cui realizzazione è stata ottimizzata per l'esecuzione di determinate operazioni.
- L'ottimizzazione è praticata di norma sulle operazioni grafiche più utilizzate come ad esempio lo spostamento di blocchi di bit, operazione questa molto utilizzata in tutte le interfacce grafiche attuali.

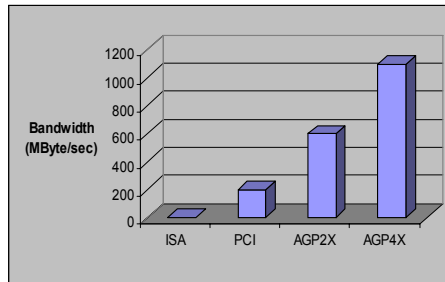


AGP Accelerated Graphics Port

- Le applicazioni che utilizzano grafica tridimensionale devono elaborare una quantità di dati molto più alta che non quelle bidimensionali.
- Animazioni o sistemi di simulazione interattivi, fanno crescere significativamente il carico computazionale legato alla simulazione in real-time dell'ambiente 3D.
- Il calcolo delle luci, le trasformazioni geometriche, l'applicazione di texture nonché l'Intelligenza Artificiale presente nelle simulazioni interattive, necessitano di potenti sottosistemi grafici.

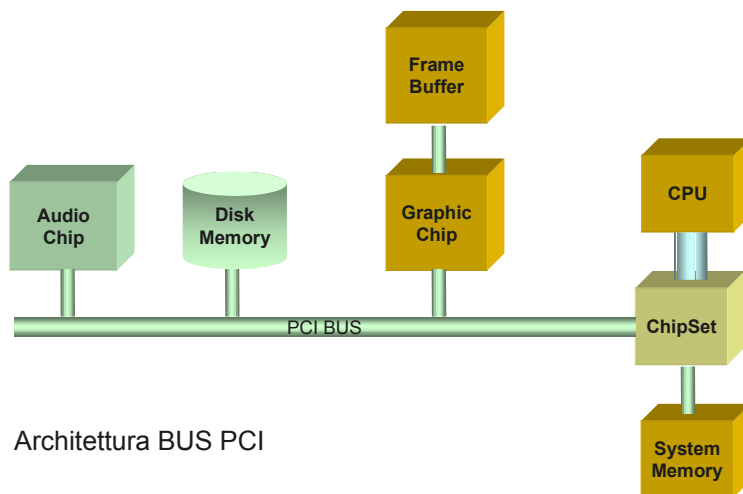
AGP Accelerated Graphics Port

- Il local BUS PCI permette una larghezza di banda (ovvero il numero di informazioni che si possono trasmettere nell'unità di tempo) di circa 132 MByte/s, misura superata dall'architettura AGP che permette una larghezza di banda di 528 MByte/s.



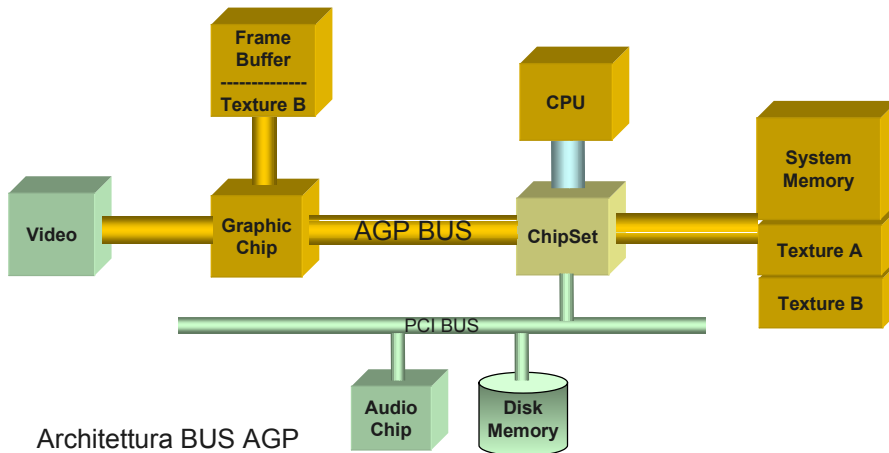
Larghezza di banda (indicativa, dipende dalla velocità del bus permessa dal chipset) offerta dai vari bus di sistema.

AGP Accelerated Graphics Port

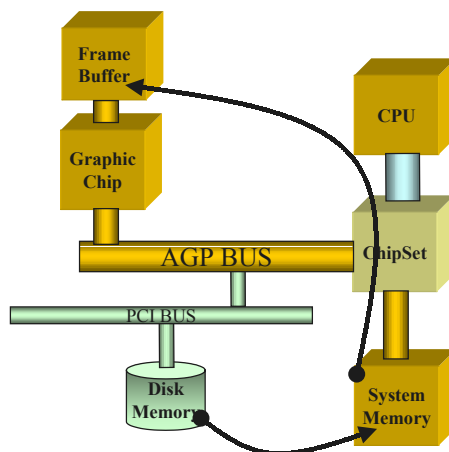




AGP Accelerated Graphics Port

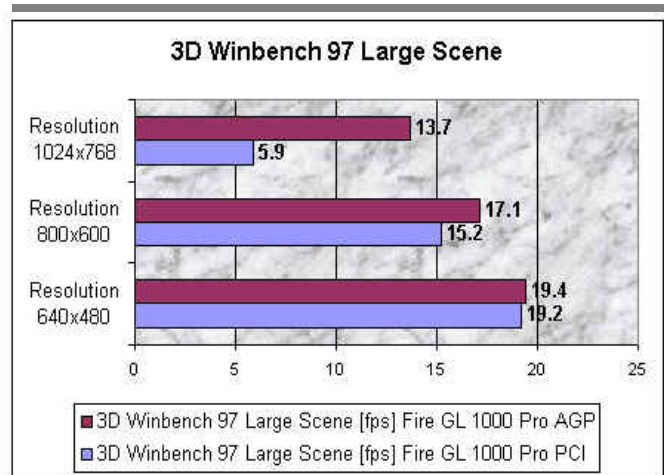


AGP Accelerated Graphics Port





AGP Accelerated Graphics Port

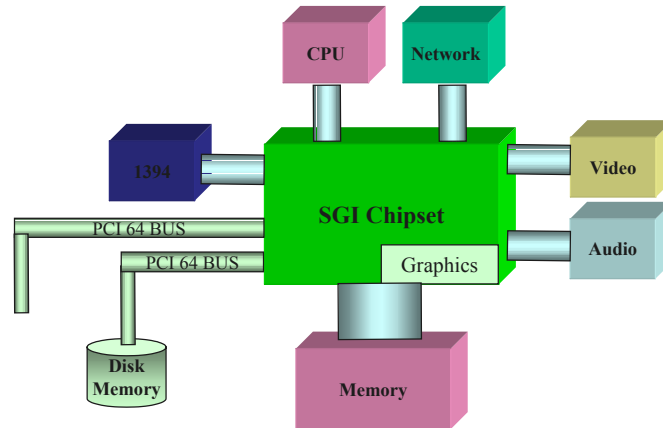


IVC Integrated Visual Computing

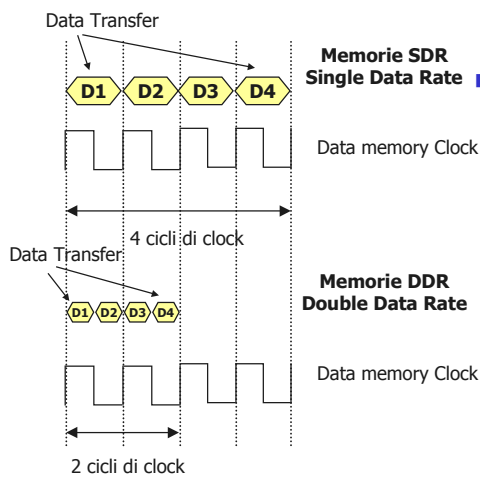
- Un altro tentativo di portare in ambiente PC le prestazioni tipiche di costose Workstation grafiche è stato fatto da Silicon Graphics con l'architettura proprietaria introdotta sulle Visual Workstation basate su piattaforma NT. L'architettura IVC (Integrated Visual Computing) prevede l'utilizzo del chip grafico Cobalt ed un sistema di bus che, anche in questo caso, ha l'obiettivo di eliminare la condivisione del bus di sistema per tutti i sottosistemi.
- In tal modo le prestazioni dei singoli sottosistemi non vengono influenzate dal carico di uno di questi.



IVC Integrated Visual Computing



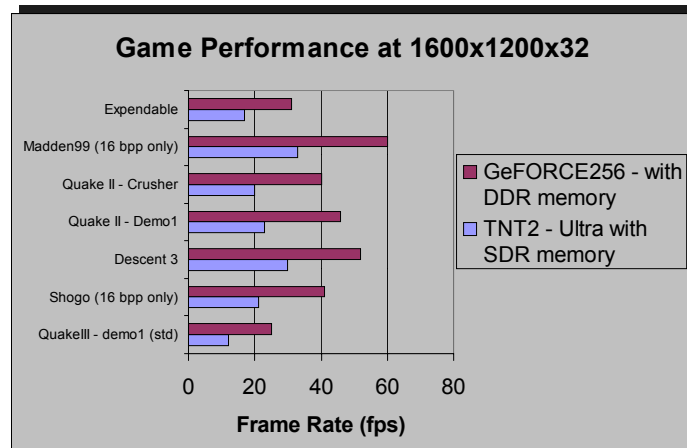
Memorie SDR vs DDR



Lo schema a fianco mostra come nello stesso numero di cicli di clock le memorie DDR (Double Data Rate) permettano un trasferimento doppio rispetto alle SDR



Memorie SDR vs DDR



Dispositivi di visualizzazione

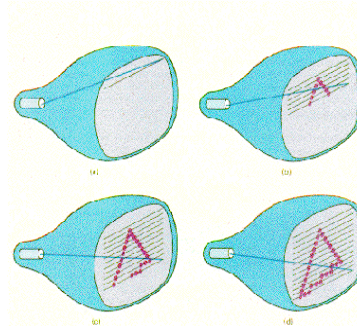
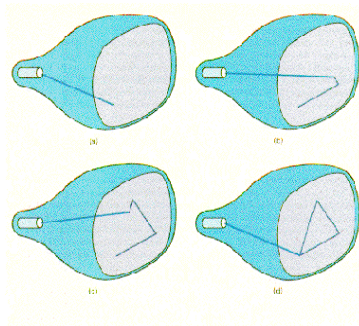
- Le tecnologie più affermate oggi sono:
 - CRT (tubi a raggi catodici)
 - LCD (display a cristalli liquidi)
- Poiché i dati sono disponibili sul computer in forma digitale, mentre i dispositivi di visualizzazione appena elencati sono di tipo analogico, è necessaria una conversione dei dati.
- I dati così convertiti in forma analogica viaggiano sul cavo di connessione computer-monitor.
- Poiché gli LCD sono dispositivi intrinsecamente digitali, in futuro, l'interfaccia di connessione diverrà digitale essa stessa.
- Lo standard che verrà adoperato è il DVI (Digital Visual Interface) sviluppato dal DDWG (Digital Display Working Group, <http://www.ddwg.org>).

Dispositivi di visualizzazione

- Analisi della tecnologia CRT. Il primo problema che si pone è la metodologia di tracciamento dell'immagine:
 - random. L'andamento del pennello elettronico segue esattamente la figura da disegnare
 - raster. Si fa percorrere al pennello un tracciato fisso accendendolo nei punti che devono essere illuminati e spegnendolo nei punti che non devono essere illuminati. Questo processo porta a discretizzare il video dividendolo in punti (pixel)

Tracciamento random e raster

- Tracciamento random
- Tracciamento raster

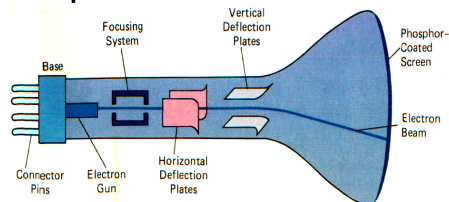


CRT

- Il secondo problema che si pone è quello del mantenimento dell'immagine; i fosfori colpiti emettono luce ma per mantenerli luminescenti si possono usare due strategie:
 - ritracciare periodicamente l'immagine (raster).
 - usare dispositivi in grado di memorizzare l'immagine (storage).
- Tecnologia raster. Un filamento percorso da corrente elettrica emette elettroni, che vengono accelerati da un campo elettrico presente tra anodo e catodo (10.000-50.000 V).

CRT

- Il punto colpito sullo schermo viene scelto mediante una deflessione del pennello elettronico ottenuta tramite le placchette di deflessione. Il video è ricoperto di fosfori; il fosforo colpito si illumina per un processo di fluorescenza, dopodiché rimane luminoso per un periodo detto di fosforescenza.
- La persistenza è il tempo di durata della fosforescenza e si calcola come il tempo che intercorre da quando la luminosità di





CRT

- Nella tecnologia storage, l'immagine tracciata sul video viene mantenuta senza bisogno di ridisegnarla.
- Non si confonda la tecnologia raster con il tracciamento raster.
- L'idea della tecnologia raster è quella di andare a riscrivere un punto ogni intervallo di tempo t , con t minore del tempo di persistenza.
- I punti del video sono divisi in una matrice bidimensionale. Lo standard è quello di "visitare" i singoli punti della matrice (pixel) da sinistra verso destra e dall'alto verso il basso.



Tecnologia raster

- Si ha una scansione molto veloce da sinistra verso destra e una "più lenta" dall'alto verso il basso.
- La deflessione del fascio di elettroni è prevalentemente di tipo elettromagnetico; una deflessione di tipo elettrostatico sarebbe più precisa ma gli angoli di deflessione sono ridotti e di conseguenza i CRT risultano avere una profondità elevata.
- A causa della scansione verticale la riga tracciata dal pennello elettronico non è orizzontale ma leggermente inclinata verso il basso.
- Quando il pennello arriva all'estrema destra del suo cammino ritorna indietro spento (retrace).



Tecnologia raster

- Il fascio di elettroni percorre un tratto maggiore della larghezza dello schermo; la "sbordatura" è detta Overscan (20% della larghezza dello schermo a destra, un 10% a sinistra e un 8% della ampiezza verticale sopra e sotto).
- La scansione è pilotata da due generatori a dente di sega; quello per la scansione orizzontale avrà una frequenza maggiore di quello per la scansione verticale.
 - il rapporto delle due frequenze dà il numero di linee per quadro.
 - possono essere necessari uno o due "quadri" per formare un'immagine.

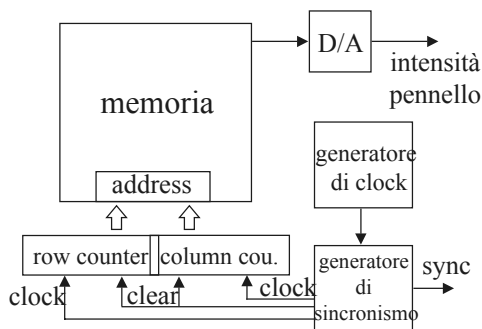


Tecnologia raster

- Standard americano NTSC:
 - frequenza orizzontale 15750 Hz (durata riga 63,49 μ s)
 - frequenza verticale 60 Hz (durata quadro 16,67 ms)
 - per evitare battimenti, una volta si imponeva che la frequenza di quadro fosse uguale a quella di rete (oggi non è più vero)
- linee per quadro $15750/60=262,5$; il valore frazionario dipende dal fatto che la maggior parte dei monitor ha un approccio di tipo interlacciato, ovvero si trasmettono due quadri sfasati di mezza linea per aumentare la risoluzione (si arriva fino a 525 linee per quadro).
- con l'approccio interlacciato si dimezza di fatto la frequenza di quadro (1/30 s)

Tecnologia raster

- Per poter continuamente rinfrescare l'immagine sullo schermo è necessario che l'immagine sia contenuta in una memoria (bit map).
- In pratica nella memoria, indirizzata dai contatori di riga e di colonna (sincronizzati dal generatore di sincronismo), c'è un bit per ogni pixel che viene scandito sistematicamente e ogni volta viene generata l'intensità corrispondente.



Tecnologia raster

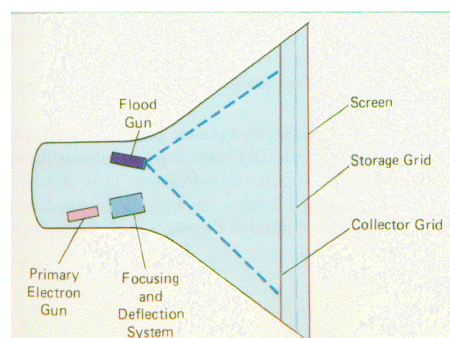
- Se invece di avere solo un bit per pixel si hanno ad esempio 3 bit si possono visualizzare il bianco, il nero e sei livelli di grigio. In generale con n bit per pixel si visualizzano 2^n colori.
- Il segnale sync emesso dal generatore di sincronismo permette di controllare le partenze delle rampe dei generatori a dente di sega:
 - si parla perciò di sincronismo di riga e sincronismo di quadro
- I segnali di sincronismo possono essere trasmessi insieme al segnale video. In questo caso si parla di segnale video composito; in un unico segnale sono inglobate le informazioni di:
 - sincronismo di quadro
 - sincronismo di riga
 - luminanza
 - crominanza (informazione di colore)

Tecnologia storage

- La particolarità di questi dispositivi è di avere due catodi uno scrivente e uno allagante (posto dopo il sistema di deflessione). Gli elettroni emessi dal catodo allagante non sono focalizzati e sono a bassa energia, quindi, non sono in grado di illuminare i fosfori spenti.
- Quando i fosfori sono eccitati dal catodo scrivente emettono più elettroni di quelli che ricevono, in questo modo tendono a diventare leggermente carichi in modo positivo. A questo punto gli elettroni allaganti hanno un'energia sufficiente per mantenere la fluorescenza.

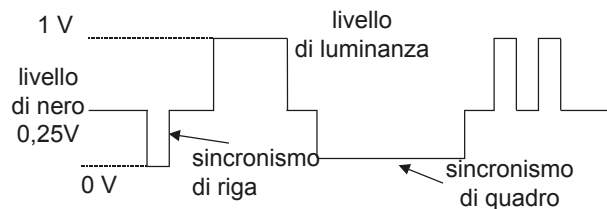
Tecnologia storage

- La cancellazione (di tutta l'immagine) si ottiene dando un impulso di tensione appropriato sull'elettrodo di memoria.
- In figura è mostrato un esempio di storage CRT.
- I dispositivi storage sono ora poco usati, e per lo più solo per particolari tipi di oscilloscopi.



Segnale video bianco e nero

- Nel caso di video in bianco e nero devono essere mandate solo le informazioni sui sincronismi e sulla luminanza.
- Il segnale composito per bianco e nero si costruisce a partire dal livello di nero (0.25V).
- Gli impulsi sopra al livello di nero sono di luminanza, mentre quelli al di sotto di sincronismo. La differenza tra impulsi di sincronismo di riga e di quadro è nella durata, rispettivamente 5 μ s e 450 μ s.
- Il segnale video composito è un segnale a radio frequenza (RF), quindi, bisogna avere trasmissioni adattate in impedenza.



Segnale video a colori

- Deve essere compatibile con il segnale monocromatico (almeno per la TV).
- Oltre ai sincronismi e al segnale di luminanza si trasmettono anche le coordinate X e Y del modello CIE. Per fare questo si aggiunge una portante di crominanza (3.577545 MHz) sovrapposta al segnale di luminanza che deve essere modulata sia in fase che in frequenza.
- Il rapporto tra l'ampiezza del segnale di crominanza e quello di luminanza determina la saturazione
 - rapporto piccolo colori pastello
 - rapporto grande colori saturi.
- Lo sfasamento del segnale di crominanza rispetto ad un segnale di crominanza campione determina la tonalità (cioè il colore).
- Prima del segnale di crominanza vengono mandati 8 cicli (back porch) per permettere al ricevitore locale di agganciarsi.



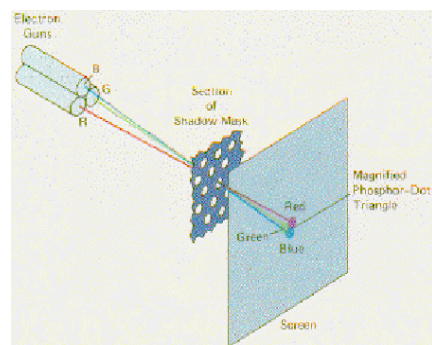
CRT - Shadow Mask

- I monitor a colori usano fosfori che emettono luci di colori diversi. Combinando le diverse luci emesse dai fosfori si può ottenere una gamma di colori.
- La tecnologia più usata nei monitor a colori è quella detta Shadow-Mask. Negli shadow-mask CRT, lo schermo è ricoperto da una serie di fosfori molto sottili disposti a triangolo.
- Ogni triangolo di fosfori serve a stabilire il colore di un singolo punto di schermo. Un fosforo del triangolo emette luce rossa, il secondo luce verde e il terzo luce blu.
- Questo tipo di CRT ha tre "pennelli elettronici", uno per ogni colore.



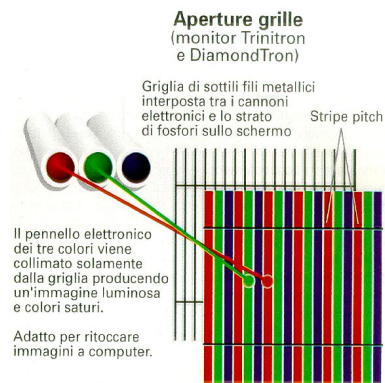
CRT - Shadow Mask

- Una griglia (shadow mask) posta immediatamente dietro lo schermo contiene dei piccoli buchi in prossimità dei triangoli di fosfori sullo schermo. I pennelli elettronici sono calibrati in modo che il fosforo di un dato colore possa essere colpito solo dal pennello elettronico corrispondente.



CRT - Aperture Grille

- I cannoni sono posti in orizzontale.
- I fili di sostegno sono generalmente visibili, e non sono un difetto, ma una caratteristica, così come la forma cilindrica del cinescopio.

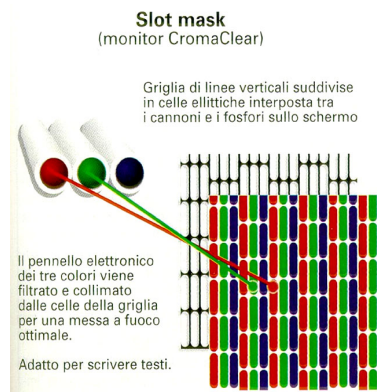


CRT - Aperture Grille

- Il tubo Trinitron ha la caratteristica di avere i tre cannoni elettronici raggruppati in un solo blocco; ciò permette di pubblicizzare i tubi Trinitron come aventi un solo cannone (il che migliorerebbe la bontà della messa a fuoco).
- In realtà si può parlare di un solo catodo, ma i cannoni sono sempre tre.
- Una tale costruzione incrementa anche la lunghezza del tubo catodico, aumentando anche i costi. Nel caso delle televisioni si richiede perciò un controllo dinamico della convergenza, al fine di ridurre la profondità del televisore.

CRT - Slot Mask

- Tecnologia sviluppata dalla NEC per i monitor CromoClear.
- È un incrocio tra shadow mask e aperture grill.
- I punti ellittici anziché rotondi migliorano saturazione, contrasto e messa a fuoco.



Fosfori

- Nella maggior parte dei monitor i fosfori sono disposti a formare un triangolo.
- Il dot pitch è la più breve distanza che esiste in linea retta tra due fosfori dello stesso colore.
- Quindi normalmente la minore distanza si ha in diagonale e non in orizzontale.
- Nel caso dei monitor Trinitron e Slot Mask si parla dunque più propriamente di stripe pitch, cioè di distanza tra due strisce dello stesso colore; è l'equivalente del dot pitch orizzontale.



Fosfori

- Nel caso di monitor di piccole dimensioni (ad es. un 17 pollici) capaci di supportare elevate risoluzioni (es 1600x1200) è perciò necessario verificare che il dot pitch orizzontale sia sufficiente a visualizzare il numero di pixel permessi dall'elettronica; altrimenti il supporto di quella risoluzione è inutile.



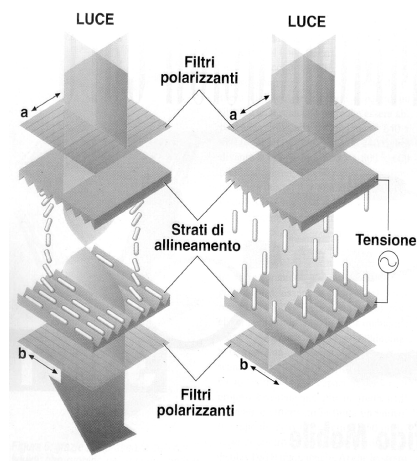
LCD

- I cristalli liquidi (scoperti nel 1888 da Friedrich Reinitzer) a seconda della temperatura e della composizione chimica possono essere isotropi o del tutto simili a cristalli uniassici.
- Gli LCD sono particolarmente utili laddove siano necessarie una o più delle seguenti caratteristiche:
 - assenza di campi elettrici (ospedali)
 - assenza di campi magnetici (ospedali)
 - assenza di radiazioni ionizzanti
 - assenza di cariche elettrostatiche (es. camere bianche)
 - ridotte dimensioni (uffici)
 - trasportabilità (calcolatori portatili)
 - immagine stabile
 - fischii in alta frequenza molto ridotti
 - ridotto consumo elettrico

LCD

- Il difetto principale dei display LCD è l'alto costo, dovuto per lo più alla attuale modesta diffusione. La visibilità in ambienti luminosi e l'angolo di vista, fino a poco tempo fa critici, sono ora pienamente soddisfacenti, anche se non ancora al livello di un buon CRT Trinitron.
- L'idea è quella di usare le celle di tipo nematico (cioè di forma filamentosa) per condurre o meno la luce. Il campo elettrico viene usato per cambiare la trasparenza della cella.

LCD

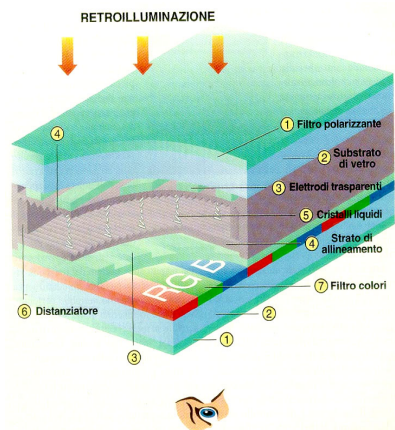


LCD

- Se la tensione non è applicata (a sinistra) la luce attraversa (seppur polarizzata linearmente) la cella formata dai cristalli liquidi e dai filtri.
- È quindi possibile vedere attraverso la cella (anche proiettando un'immagine), oppure, in assenza di retroilluminazione, osservare la parete dietro la cella (per esempio di colore nero).
- Se la tensione è applicata (a destra) la cella di cristalli liquidi si comporta come un polarizzatore lineare allineato lungo il polarizzatore a.
- La presenza dei due polarizzatori a e b assorbe una parte considerevole della luce che attraversa la cella; nel caso degli LCD a Polimeri Dispersi i polarizzatori vengono sostituiti dall'uso di appositi polimeri.

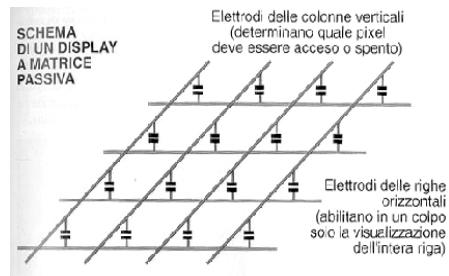
LCD

- Nel caso di display a colori si usano dei filtri, uno per ciascuno dei colori primari, così da generare tutti i possibili colori; il principio tuttavia non cambia.



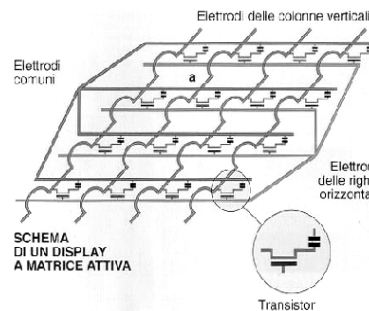
LCD

- Gli LCD a matrice passiva hanno un elettrodo per ciascun pixel e gli elettrodi sono raggruppati a righe e colonne.
- Le colonne attivano singolarmente i singoli pixel che dovranno essere spenti (normalmente accesi e lasciano passare la luce di retroilluminazione)
- Gli elettrodi di riga invece attivano la chiusura o l'apertura dei pixel una riga alla volta.



LCD

- Nel caso dei display a matrice attiva i pixel vengono controllati singolarmente. La velocità di refresh è molto più alta, ma anche il costo ed il rischio di esemplari difettosi.





LCD

- Nel prossimo futuro l'evoluzione degli LCD prevederà la scomparsa di due elementi:
 - la lampada di retroilluminazione
 - i filtri polarizzatori
- La lampada di retroilluminazione verrà eliminata tramite i FED (Field Emission Display).
- Nei FED una sorgente di elettroni colpisce i fosfori sul pannello come nei CRT; le tensioni in gioco sono tuttavia basse, da cui una minima emissione di radiazioni.
- I filtri polarizzatori scompariranno tramite l'impiego di LCD con alti polimeri dispersi, dove gli alti polimeri, sono polimeri composti da un elevatissimo numero di monomeri.
- La presenza di tali polimeri permette o meno il passaggio della luce in presenza di campo elettrico in modo analogo ai polarizzatori.