

La matematica nella Computer Graphics

Pierluigi Amodio

Dipartimento di Matematica

Università di Bari

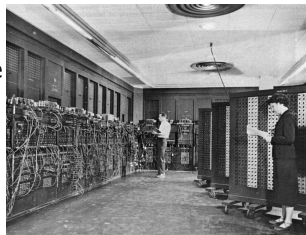
pierluigi.amodio@uniba.it

<https://www.dm.uniba.it/members/amodio>

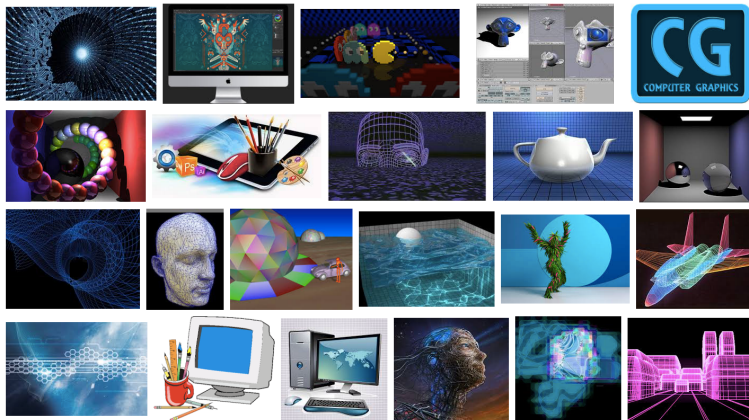
A.A. 2020/2021

Computer Science

- La *computer science* nasce alla fine degli anni 30 per scopi militari. I primi calcolatori furono creati con l'obiettivo (di americani ed inglesi) di decrittare i messaggi cifrati dai tedeschi e per questo servivano macchine automatiche in grado di eseguire tantissime operazioni in pochissimo tempo.
- Si è quindi subito deciso di dotare i calcolatori elettronici (anni 40) di una **memoria** per immagazzinare i dati e di una **unità aritmetico logica** in grado di elaborarli.
- All'inizio non era necessario rendere semplice il loro utilizzo in quanto bastavano tecnici specializzati.
- Solo negli anni 50 si è pensato di utilizzare tutta questa tecnologia per scopi industriali ed anche di semplificarne l'uso.

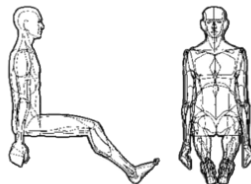


The term **computer graphics** refers to anything involved in the creation or manipulation of images on computer, including animated images



Computer Graphics – CG

Le parole “computer graphics” furono usate per la prima volta nel 1960 da William Fetter della Boeing che disegnò una figura umana usando un computer.



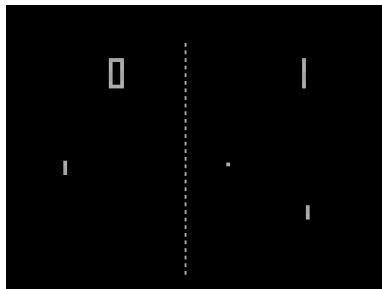
La CG è un'area della Computer Science che si occupa di ...
“almost everything on computers that is not text or sound”.



CG - Campi di applicazione

- videogiochi
- fotoritocco di immagini digitali
- film d'animazione o con contenuti digitali
- progettazione
- design industriale
- ...

CG - principali applicazioni: videogiochi



1972: Pong



2015: Fifa 16

CG - principali applicazioni: fotoritocco



Dal rullino al digitale

Prima dell'era digitale tutti i fotografi (dai grandi fotoreporter ai vacanzieri della domenica) dovevano cimentarsi con i rullini fotografici, piccoli dispositivi su cui rimanevano impresse le fotografie. Una volta terminato il rullino (con 24/36 foto), era necessario portarlo da un laboratorio specializzato che sviluppava e stampava le fotografie.



Fotografia digitale

Nel 1975 l'ingegnere della Kodak Steve Sasson riuscì a realizzare la prima fotocamera digitale.



La macchina possedeva un sensore d'immagine con una risoluzione di 0,01 megapixel (100 X 100 pixel) e richiedeva 23 secondi per registrare una singola immagine all'interno di una cassetta digitale. La fotocamera pesava circa 4kg.

Fotografia digitale

La macchina fotografica di Sasson non fu mai commercializzata perchè sarebbe stata troppo costosa e la Kodak abbandonò la ricerca. La prima macchina fotografica digitale fu commercializzata nel 1987 da una piccola società californiana: la MegaVision. Un anno dopo i giapponesi di Fuji iniziarono la commercializzazione di un loro modello di fotocamera digitale. Il prezzo partiva da 10.000\$ e arrivava fino a 40.000\$.



Foto digitali

Pur non avendo ancora le qualità di una macchina analogica, ormai le fotografie digitali hanno conquistato il mercato. Alla base di questa tecnologia, la rappresentazione dell'immagine mediante una matrice di puntini colorati (pixel). Questo significa trasformare una fotografia in una matrice di numeri.

Esistono diversi formati in cui è possibile memorizzare un'immagine digitale: tra questi jpg, png, gif, tiff, pdf. Ognuno di questi ha delle caratteristiche peculiari e conserva alcune proprietà dell'immagine. Ma tutti mantengono una matrice $m \times n \times d$ di numeri che permettono di ricostruire l'immagine. Il numero $m \cdot n$ rappresenta il numero di pixel dell'immagine, mentre d rappresenta il modo in cui il colore viene decomposto:

- $d = 1$: immagine in scala di grigi
- $d = 3$: immagine RGB (Red, Green, Blue)
- $d = 4$: immagine CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key black)

Immagini digitali in matlab

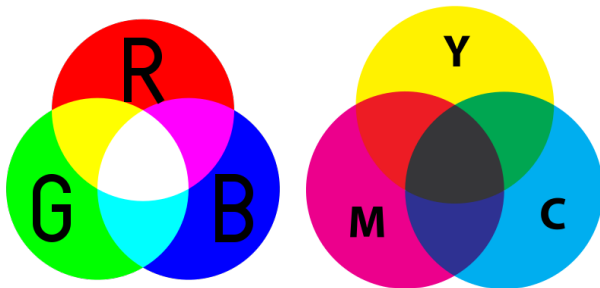
Qualunque software matematico è in grado di importare e modificare immagini digitali.



```
72 78 74 64 64 76 72 73 74 88 76 77 74 73 72 69 75 76 66 71 59 77 66 73 68 73 66 73
74 66 74 73 71 74 78 75 75 78 77 72 73 78 74 73 78 65 69 78 73 79 71 78 64 64 69
72 76 73 73 71 78 88 75 75 82 76 73 75 88 74 73 74 68 68 68 69 69 67 74 69 77
77 79 78 79 82 75 74 78 79 76 73 86 74 71 77 86 83 78 73 67 72 68
81 88 82 82 79 82 81 75 81 72 77 76 87 73 72 78 64 68 39 89 88 87 69 82 67 78 74
81 79 83 83 82 85 85 79 72 78 74 46 74 67 69 63 67 67 68 76 67 65 66 74 66 81
88 82 79 81 87 78 88 77 71 76 71 71 78 67 63 67 74 82 69 64 62 64 78 62 78
81 89 79 74 79 72 75 71 69 76 72 76 72 88 78 61 67 65 66 81 65 64 62 64 61 74 65
84 85 82 88 83 78 78 68 75 73 69 69 67 78 67 71 65 56 66 62 69 64 78 65 72 67
84 81 79 84 78 81 76 71 74 73 72 69 65 64 67 69 78 62 71 61 68 62 66 69 58 69 64
86 87 84 77 71 87 72 72 77 78 75 65 78 62 67 64 68 62 69 56 64 62 71 66 69 66 74
72 82 78 88 69 59 57 67 78 68 67 69 72 72 68 67 64 69 68 78 86 66 71 61 61 67
76 75 79 73 76 73 78 74 74 72 64 76 69 71 67 65 66 72 68 71 83 65 64 69 68 82 72
88 68 75 65 69 75 68 69 73 68 69 69 75 78 78 68 78 68 82 65 65 68 68 73 68
79 78 76 72 74 74 78 78 72 71 68 78 69 65 63 68 64 64 68 74 76 65 65 68 66 71 72
73 78 77 66 68 63 67 66 71 64 74 66 71 69 61 67 67 78 62 64 64 68 69 69 63 69
71 75 78 73 72 69 73 76 75 72 69 69 67 68 72 78 68 69 63 68 68 72 71 72 72 67 72
78 68 69 69 67 71 67 78 65 68 75 67 68 72 78 69 67 74 79 67 68 76 78 74 71 69 74
69 72 72 78 69 68 73 64 75 73 64 68 62 71 73 78 69 72 75 71 67 72 76 73 75 67
68 72 72 71 71 78 73 72 74 68 73 72 67 65 71 78 71 69 68 68 72 76 79 72 77 77 72
67 68 68 71 74 71 78 67 72 78 67 73 65 72 71 68 78 68 74 75 71 67 74 76 81 74 78
67 67 68 72 75 78 68 72 78 63 64 66 75 71 71 78 74 78 72 72 75 72 79 81 78 77 68
68 71 72 72 72 66 69 72 64 72 68 71 59 66 74 65 74 71 64 66 77 81 83 88 77 74
67 78 72 72 71 68 71 72 68 78 78 71 65 63 65 67 71 72 74 68 78 84 74 77 76
66 67 78 71 71 68 72 75 68 65 68 74 67 65 68 67 69 72 67 69 69 76 79 88 83 85 77
77 69 69 67 81 75 78 71 74 74 75 67 71 71 72 68 73 69 68 73 71 77 82 77 82 73
68 68 76 73 71 67 75 78 69 73 71 73 72 73 67 68 75 68 77 68 80 75 82 75 80 79
68 67 75 76 73 67 69 67 69 76 73 72 69 71 67 77 67 82 69 74 71 78 76 76 78 81 73
72 68 61 67 71 75 74 67 71 73 74 68 78 69 69 73 73 78 76 81 69 65 75 78 88 78
68 73 69 71 66 71 71 78 67 76 67 74 72 69 73 69 71 78 74 78 76 76 75 82 84 85
73 69 73 69 73 69 73 76 75 73 78 71 71 78 77 73 76 71 74 67 74 73 69 85 82
74 77 74 78 79 75 68 73 78 72 72 69 68 74 73 76 76 71 75 71 71 78 70 77 76 84 79 85
78 76 72 72 73 73 74 78 71 68 78 65 71 73 75 78 74 62 78 75 77 74 69 75 79 88
73 74 74 73 66 77 76 75 69 74 67 75 66 78 67 74 69 77 69 67 74 72 68 79 78 82
76 77 64 79 73 77 74 69 67 74 76 75 78 69 78 71 76 78 72 86 74 82 72 71 79
67 67 67 76 67 78 78 78 78 77 72 75 73 71 72 68 72 79 83 75 78 77 78 83 81
77 71 88 84 67 69 72 74 76 72 82 68 72 71 75 66 73 69 89 77 75 76 81 82 84 81
72 71 73 78 74 79 72 74 73 71 73 71 74 74 76 69 68 67 73 72 78 76 77 81 77 74 81
67 74 76 75 74 72 76 67 74 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76 76
73 73 68 67 80 73 68 76 78 68 73 72 71 78 79 72 73 76 78 70 85 82 76 81 88 79
```

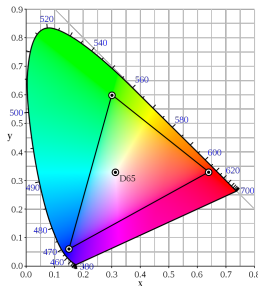
In matlab la matrice è di tipo `uint8`, cioè ogni numero (elemento della matrice) è un intero che varia da 0 a 255 (2^8 combinazioni). Questo significa che il numero totale di colori di una immagine RGB è $2^{24} = 16777216$, cioè oltre 16 milioni. In RGB, (0,0,0) indica il nero e (255,255,255) indica il bianco. L'elemento (1,1) indica il pixel in alto a sinistra. Il primo indice indica la riga.

RGB e CMYK



- L'RGB è un modello additivo: unendo i tre colori con la loro intensità massima si ottiene il bianco (tutta la luce viene riflessa).
- Il CMYK è un modello di colore a sintesi sottrattiva che viene usato nei dispositivi di stampa a colori (stampa in quadricomia).

Da RGB a CMYK e viceversa



Il “gamut” è l'intero range di colori che l'occhio umano è in grado di percepire. I modelli di colore proposti sono in grado di rappresentare solo una parte di essi che in genere dipende dal dispositivo (monitor o stampante). Esistono delle trasformazioni che permettono di passare da un modello all'altro, ma queste non sono univoche. Supponendo che esistano $n + 1$ possibili variazioni per ciascun colore primario (da 0 a n) un esempio di formule di trasformazione è il seguente:

$$(R,G,B) = ((n - (C,M,Y)) \times (n - K)) \bmod n$$
$$t = \max(R,G,B), \quad (C,M,Y) = \lceil n(1 - (R,G,B)/t) \rceil, \quad K = n - t$$

Manipolazione di immagini

Tra i tanti vantaggi di una immagine digitale c'è la possibilità di modificarla (migliorarla) intervenendo sugli elementi della matrice. Le funzioni di trasformazione

$$A(x, y) \xrightarrow{\text{filtro}} B(x, y)$$

prendono il nome di filtri. Questi possono essere di tipo:

- puntuale
- locale
- globale

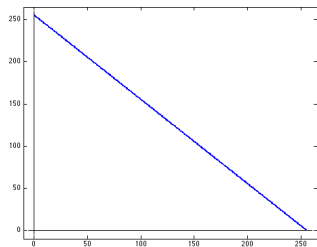
Filtri

Nei filtri puntuali il pixel $B(x, y)$ dipende solo dal pixel corrispondente nell'immagine originale. Servono a modificare la luminosità dell'immagine, a ridurre le gradazioni raggruppando i colori, oppure ad eliminare alcuni colori.

Nei filtri locali il pixel $B(x, y)$ dipende dal pixel corrispondente nell'immagine originale e dai pixel intorno. Servono a smussare le alte frequenze (passa-basso) o ad evidenziare i contorni (passa-alto).

Nei filtri globali il pixel $B(x, y)$ dipende da tutti i pixel dell'immagine originale. Servono ad eliminare zone troppo chiare o troppo scure lavorando sull'istogramma delle frequenze dei colori.

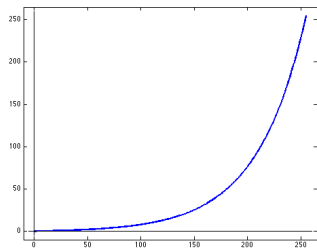
Esempio filtro puntuale: negativo



$$y = 255 - x$$



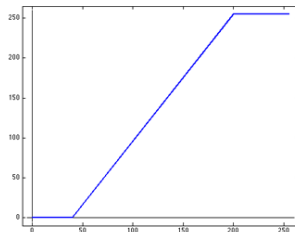
Esempio filtro puntuale: esponenziale



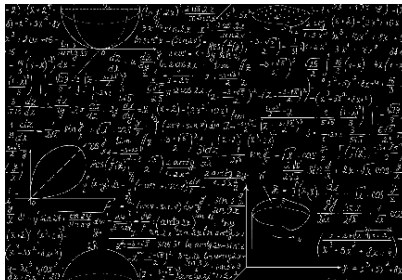
$$y = \exp\left(\frac{x \log(256)}{255}\right) - 1$$



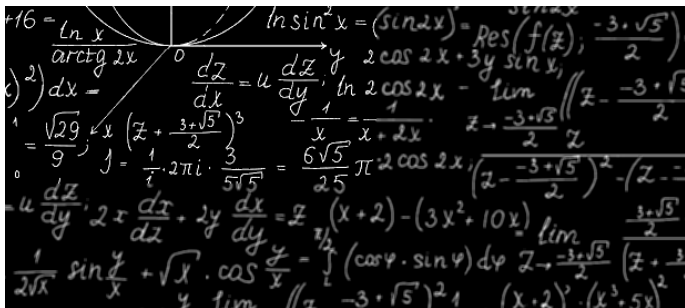
Esempio filtro puntuale: eliminazione rumore



$$y = \begin{cases} 0 & x \leq 40 \\ \frac{255}{160}(x - 40) & 41 \leq x \leq 200 \\ 255 & x \geq 201 \end{cases}$$



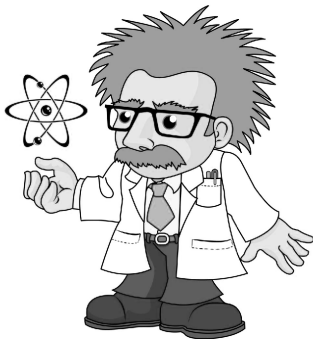
Esempio filtro locale: media mobile (passa-basso)



$$M = \frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Solo una parte della lavagna è stata filtrata. Sapresti riconoscerla?

Esempio filtro locale: estrazione di contorni (passa-alto)



$$M = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Filtri globali: istogramma di una funzione

L'istogramma associato ad una fotografia conta quanti pixel sono associati ad un determinato colore



Valori piccoli dei pixel indicano le ombre, valori grandi le luci mentre quelli centrali i cosiddetti mezzitoni. Se i picchi sono all'inizio dell'istogramma la foto è troppo scura, se sono alla fine, la foto è troppo chiara. Una foto ben bilanciata ha un istogramma a campana.

Grafica raster vs. grafica vettoriale

Tutte le immagini che abbiamo considerato hanno diverse estensioni (.jpg, .tif, .png, .gif) ma sono sempre caratterizzate dai pixel che le compongono. Sono chiamate immagini raster (o bitmap).



Esistono altri tipi di immagini che sono descritte mediante un insieme di primitive geometriche che definiscono punti, linee, curve e poligoni. Queste sono le immagini vettoriali ed il formato associato è definito attraverso equazioni matematiche ed è indipendente dalla risoluzione; infatti può essere ingrandito all'infinito senza subire perdite di qualità e definizione.

CG - principali applicazioni: film con contenuti digitali



1977: Guerre stellari

Film principali con contenuti digitali

- *Guerre Stellari* (1977) di George Lucas
- *Alien* (1979) di Ridley Scott,
- *E.T. l'extraterrestre* (1982) di Steven Spielberg
- *Ritorno al futuro* (1985) di Robert Zemeckis
- *Chi ha incastrato Roger Rabbit?* (1988) di Robert Zemeckis,
- *Toy Story* (1995) di John Lasseter
- ...
- *Titanic* (1999) di James Cameron
- *Avatar* (2009) di James Cameron

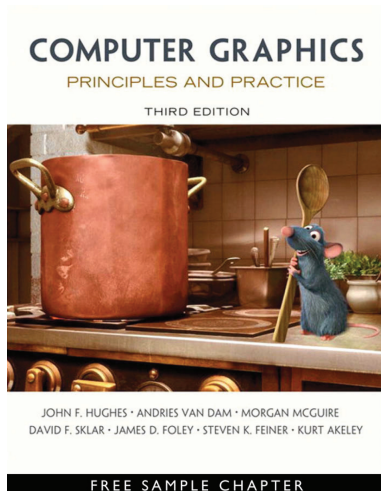
Vita di Pi (2012)



Film di animazione



1995: Toy Story



Film di animazione

Ma tutto cominciò con ...



1984: Andrè e Wally B

Alle origini dell'animazione

Per costruire film di animazione computerizzata serve la matematica. Infatti ciascun oggetto è costruito a partire da

- alcuni (pochi) punti di controllo che lo identificano,
- funzioni matematiche che realizzano la ricostruiscono.

A seconda della scelta delle funzioni abbiamo una forma differente. Per muovere l'oggetto è poi sufficiente muovere i punti di controllo



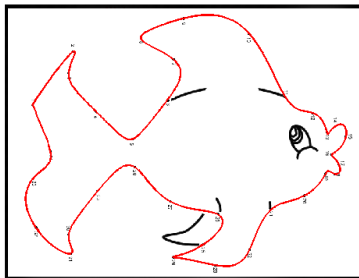
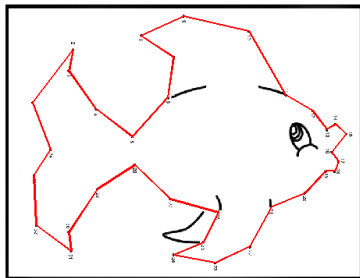
Unisci i puntini

Cosa si ottiene se uniamo i puntini (da 1 a 34) con una matita? Proviamo a risolvere questo gioco con la matematica.



La curva che unisce i puntini è detta interpolante. Se vogliamo unire i puntini con dei segmenti abbiamo una curva lineare a tratti. Nulla vieta però di utilizzare qualcosa di più complesso...

Alcune soluzioni

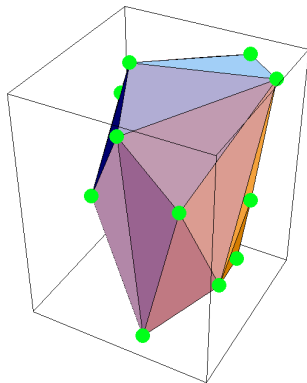
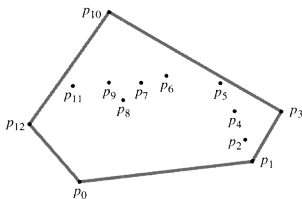


soluzioni ottenute modificando
l'interpolante o i parametri
che li caratterizzano



Creare forme partendo dai puntini

Si è però visto che, quando vogliamo creare delle forme particolari partendo dai puntini, è più facile che questi non siano interpolanti ma piuttosto di “controllo”, evitando ad esempi che il risultato “esploda” come nel caso precedente. Per questo si utilizzano particolari funzioni che fanno rimanere la forma all’interno del dominio generato dai punti



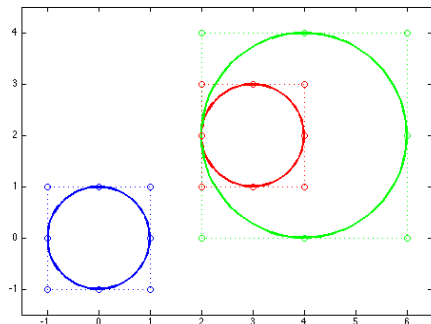
Computer-aided geometric design – CAGD

- è la scienza che si occupa di creare forme o oggetti in 3D partendo da puntini e regole di composizione
- è un settore a metà tra geometria computazionale e CAD che utilizza la descrizione matematica per costruire e rappresentare curve, superfici e volumi su un computer
- si occupa sia di oggetti con una geometria ben definita che di oggetti *free form*

Le più importanti funzioni matematiche che si usano nella CAGD sono le B-spline e le NURBS.

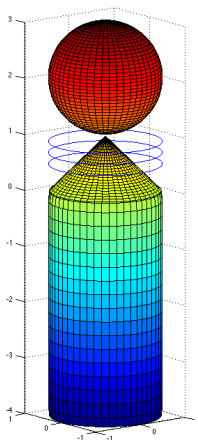


Rappresentazione di curve



Trasformazioni geometriche partendo dai punti di controllo

Rappresentazione di superfici



Rappresentazione di curve e superfici classiche.

Ogni magia è possibile nella Computer Graphics!!



Sveglia! La matematica ti offre opportunità. Approfittane!!