

INFORMAZIONI ANALOGICHE E DIGITALI

- Analogico significa “continuo”. Il tachimetro dell’automobile (se a lancetta), l’orologio a lancette (se queste non si muovono a scatti), la manopola del volume di uno stereo (se non ha gli scatti), un termometro a mercurio: sono tutti esempi di strumenti analogici. Il problema è che i *segnali* analogici non si possono rappresentare direttamente con numeri ma solo con *grandezze* (angoli per le lancette, segnali elettrici, l’altezza del mercurio) e, purtroppo, queste grandezze a loro volta non possono essere trattate ed elaborate da un computer!
- Digitale. Digitale significa avere a che fare con *numeri*. Se l’analogico è il regno del *continuo*, nel mondo digitale domina il *discreto*. In un orologio digitale che visualizza solo i minuti, in un determinato istante sono le 15.30, dopo un minuto sono le 15.31: non è possibile visualizzare gli *infiniti* attimi intermedi che sono invece rappresentati nell’orologio analogico dall’impercettibile ma (attenzione al termine!) *continuo* movimento delle lancette!
Il “successo” del digitale è dovuto al fatto che i computer sono perfettamente in grado di trattare ed elaborare *numeri* (anzi, non sanno fare altro!!). Il punto fondamentale è questo: i computer possono manipolare esclusivamente informazioni digitali. Dal momento che i computer moderni sono in grado di elaborare diversi tipi di informazioni, si pone il problema di come renderle tutte di tipo digitale o, con un verbo piuttosto utilizzato, come *digitalizzarle*. Non è quindi questione di qualità o di modernità ma soltanto di una *esigenza pratica*, legata al mondo dell’informatica.

Quali sono i diversi tipi di informazione che devono essere digitalizzati per essere elaborati da un computer? Non è difficile, di base sono soltanto 3!!

- Testo
- Immagini
- Suono

E il video? Beh, si può considerare come una sequenza di immagini e di suoni, no?

E i numeri? I computer non li usano per fare calcoli? Certo, ma i numeri sono *già* ...digitali (anche se alcuni numeri, come gli irrazionali, pongono qualche problema...ma per ora possiamo lasciar perdere queste sofisticazioni da matematici)



```
!"#$%&'()*+,-./
0123456789:;<=>?
@ABCDEFGHIJKLMNO
PQRSTUVWXYZ[\]^_
`abcdefghijklmnopqrstuvwxyz{|}~
```

Allora, per capire *come* sia possibile memorizzare in un computer un libro, una fotografia, una canzone o un film, dobbiamo comprendere in che modo le informazioni possono essere digitalizzate.

- **Testo.** In un certo senso il testo è già informazione *discreta*, dal momento che si basa su un numero finito di *simboli* (le lettere e gli altri elementi come punteggiatura ecc.). La

digitalizzazione del testo è quindi piuttosto facile, non a caso già i primi computer erano in grado di memorizzare testi: è sufficiente una *tabella di*

- *conversione* con la quale assegnare ad ogni lettera un numero corrispondente, come nei “codici segreti” con i quali si giocava da bambini. Una volta stabilito che la lettera “A” corrisponde al numero 41 (è un esempio!!), ogni volta che chiunque preme il tasto con la “A” sulla tastiera, da qualche parte nella memoria del computer viene inserito questo numero. Certo, le cose non sono proprio così semplici: ad esempio bisogna trovare un sistema di codifica che vada bene per tutte le lingue del mondo (pensiamo al cinese!!!). In ogni modo, la logica è elementare: una lettera = un numero formato da un certo numero di cifre. Attualmente si usano codici formati da 7/8 cifre (ad esempio il codice [ASCII](#)) o da 16 cifre ([UNICODE](#)). Ovviamente parliamo di cifre **binarie** (solo 0 e 1, i cosiddetti [bit](#)) perché, come sappiamo, i computer possono operare soltanto con questo sistema! In sintesi, ad ogni carattere (spazio incluso!) corrisponde generalmente un [byte](#) (due o più nel caso di codifica UNICODE).
- **Immagini.** Le cose si complicano: le immagini non sono *nativamente* formate da *elementi di base discreti* come le lettere! Per risolvere il problema sono state escogitate due strategie, alle quali ci si riferisce normalmente con i seguenti termini:
 - [bitmap o raster](#): con questa tecnica si immagina di sovrapporre ad una qualsiasi immagine una *griglia* il più possibile fitta. Ogni elemento della griglia (come se fosse un tabellone della battaglia navale) prende il nome di *pixel* e può essere considerato un *punto* del quale si può rilevare il *colore*. Ecco che spunta l’elemento di base, simile alle lettere per il testo! Basta assegnare un codice numerico ad ogni diverso colore e..il gioco è fatto. Una immagine diventa così memorizzabile sotto forma di una sequenza di numeri. Da qui il nome *bitmap*=mappa di bit, ovvero numeri. Già, ma quanti numeri? La dimensione dipende dalla grandezza dell’immagine, dalla griglia più o meno fitta (si chiama anche *risoluzione*) e da quanti *bit* si usano per codificare il colore (si chiama anche *profondità del colore*). Più questi valori sono elevati (griglia molto fitta=alta risoluzione e molti bit utilizzati=grande profondità di colore) è più l’immagine digitalizzata sarà *simile* all’originale. Il risultato finale è generalmente un file di dimensioni piuttosto consistenti, in gergo si dice che le immagini *pesano* più del testo. Questa modalità di digitalizzazione è molto efficace per digitalizzare fotografie, meno per schemi e disegni tecnici. Le fotografie che si trovano sul Web e le foto scattate dalle fotocamere e dai telefonini sono tutte di tipo bitmap.
 - [vettoriale](#): la grafica vettoriale si basa su un’idea semplice: ogni immagine può essere considerata un insieme di luoghi geometrici (punti, linee, ecc.). Ebbene, memorizzando soltanto le coordinate spaziali di questi elementi. Il risultato è una dimensione molto ridotta del file. Questo tipo di digitalizzazione non è però assolutamente adatto a memorizzare fotografie ma è molto utilizzata per schemi, diagrammi, disegni tecnici. Tra l’altro le immagini vettoriali possono essere rimpicciolite e ingrandite a piacimento, cosa che non avviene altrettanto bene con le immagini bitmap. Un esempio: le cartine geografiche che si trovano sul Web o sui navigatori GPS da automobile sono tutte realizzate con grafica vettoriale.
- [Suoni](#). Con testi e immagini ce la siamo cavata abbastanza bene: siamo riusciti a ricondurre gli uni e le altre sono ad *elementi di base* (lettere, pixel, punti, linee) rappresentabili numericamente. I suoni presentano problemi diversi; intanto un suono è immateriale: tutti sappiamo che si tratta di vibrazioni propagate nell’aria o in altro mezzo, inoltre esso si prolunga nel tempo, invece che nello spazio (come le immagini). E’ abbastanza noto come un suono possa essere rappresentato graficamente come un’*onda* (si parla spesso di *onde sonore*). Come per le immagini, anche la rappresentazione numerica delle onde sonore può avvenire attraverso due modalità:



- *campionamento*: è paragonabile alla tecnica bitmap vista per le immagini. Anche in questo caso si tratta di “sovrapporre una griglia” ma, dal momento che si tratta di suoni, sarà una griglia che si estende nel tempo e non nello spazio! Il suono viene infatti “analizzato” molte volte per secondo (fino a 44.100 volte, come nel caso dei comuni CD musicali, e allora si dice che la *frequenza di campionamento* è di 44.100hz o 44,1Khz). Ognuno di questi “campioni” (da cui “campionamento”) costituisce dunque l’ormai consueto “elemento base” al quale si può finalmente assegnare un numero. In questo caso il numero rappresenta l’*ampiezza* del suono nell’istante considerato. Anche per i suoni è importante la *profondità* ovvero il numero di bit utilizzati per esprimere il valore dell’ampiezza del suono. E’ facile intuire come il *peso* di un *file audio* (come vengono spesso chiamati i suoni digitalizzati) sia ancora più elevato di quello, già rilevante, delle immagini. Il suono campionato è quello che ascoltiamo normalmente quando inseriamo un CD nello stereo di casa (a proposito, la capacità di un CD, circa 650Megabyte è proprio quella minima necessaria a contenere circa 74 minuti di musica campionata a 44Khz e con 16bit di profondità (il campionamento alla cosiddetta *qualità-CD*)! Non ci credete? Basta fare qualche moltiplicazione, provateci voi, vedi gli esercizi in fondo alla lezione)
- *spartito o MIDI*: questa tecnica è simile alla grafica vettoriale. Invece di campionare il suono si codificano, come se si trattasse di uno spartito, le istruzioni necessarie per riprodurlo con un sintetizzatore di suoni elettronico che, guarda caso, è presente in tutte le schede audio di cui sono dotati i computer! In questo caso il file risultante è di dimensioni molto ridotte ma questa tecnica presenta l’enorme svantaggio di ...dipendere dall’esecutore!! I sintetizzatori infatti producono un suono di scarsa qualità e non sono in grado di riprodurre la profondità del suono reale degli strumenti musicali e, soprattutto, della voce umana!! Per questo motivo, i MIDI sono usati soltanto per particolari scopi, ad esempio come basi per i karaoke o per piccoli pezzi musicali.
- **Video**: si è detto prima che il video può essere ricondotto ad una sequenza di immagini fisse (i fotogrammi) con una colonna sonora sincronizzata. Per la digitalizzazione dei video, ovvero di “immagini in movimento con sonoro” si usa pertanto una combinazione delle tecniche *bitmap* e *campionamento* viste in precedenza, con le intuibili complicazioni che ne derivano, in primo luogo la estrema *pesantezza* dei file risultanti, non a caso sono stati inventati i DVD, di capacità ben superiore ai CD audio!

RAPPRESENTAZIONE IMMAGINI

Per rappresentare un'immagine servono più punti, più ce ne sono più la qualità dell'immagine è alta e ci si avvicina alla realtà.

RGB utilizza la somma additiva per sommare i 3 colori presenti ed offrire tutta la gamma cromatica della foto. È indicato per la visualizzazione a schermo in quanto i colori risultano più brillanti e saturi inoltre il file in RGB è più piccolo del 25% rispetto allo stesso file in CMYK (Ciano Magenta Giallo Nero). Il metodo CMYK utilizza la sintesi sottrattiva per sommare i suoi colori ed è la migliore soluzione per la stampa di immagini di alta qualità: è il metodo che viene usato in tipografia stampando più volte lo stesso file, sovrapponendo colore per colore fino ad ottenere l'immagine finale.

RGB

R 0-255

G 0-255

B 0-255

$640 \times 480 \text{ pixel} \times 24 \text{ bit} = 7372800 \text{ bit} = 1 \text{ MB}$

$640 \times 480 \times 8 = 2457600 \text{ bit} = 307200 = 300 \text{ KB}$

si utilizzano formati compressi che riducono il numero di MB

- 1) LOSSLESS = non perde informazioni
- 2) LOSSY = perde informazioni (più utilizzato)

Il primo metodo si applica a qualunque tipo di informazione rappresentata in binario e si basa sul riconoscimento delle sequenze di bit che si ripetono con maggiori e minori frequenze: le sequenze più frequenti vengono sostituite con codifiche più corte appositamente codificate, in modo da risparmiare spazio.

Vengono applicate nei compressori winzip, winrar e nella rappresentazione delle immagini in formato .gif (Graphics Interchange Format), .png (Portable Network Graphics) e .tiff (Tagged Image File Format).

Il formato gif è particolarmente utilizzato per le applicazioni in internet in quanto offre una buona rappresentazione visiva dell'immagine anche di grandi dimensioni occupando poco spazio e consentendo rapida visualizzazione. Un file .gif può contenere più immagini visualizzate in sequenza da alcuni software (i browser) i quali permettono anche di ottenere semplici animazioni (nel caso di .gif animate) e uno sfondo trasparente. Purtroppo questa codifica ha dei limiti: le immagini .gif possono utilizzare al massimo 256 colori differenti; la stampa di queste immagini è di pessima qualità.

I principali algoritmi di compressione sono:

- 1) RLE (Run Length Encoding): utilizzato esclusivamente per la compressione di immagini RASTER, sostituisce ogni sequenza di byte di valore identico con 2 soli byte: il primo usato per indicare il numero di ripetizioni, il secondo per il relativo valore.
- 2) LZ (Abraham Lemper e Jacob Ziv): utilizzato per la compressione di qualunque tipo di documento binario: memorizza in una tabella, (dizionario), le configurazioni di valori che si ripetono frequentemente nel documento originario per poi sostituire ogni loro occorrenza con il relativo indirizzo del dizionario.

Il secondo metodo si applica generalmente ai dati multimediali, in quanto sfrutta le caratteristiche della biologia dei sistemi sensoriali umani: in base ai limiti delle capacità percettive dell'uomo è possibile alterare alcune caratteristiche del segnale originario, al fine di ridurre le dimensioni della sua rappresentazione binaria, mantenendo tuttavia una qualità accettabile. Per esempio la retina dell'occhio ha una maggiore insensibilità

alle variazioni di luminosità rispetto alle variazioni cromatiche, questo permette di trascurare differenze di colore sufficientemente piccole tra pixel vicini riducendo la quantità di sfumature e quindi la dimensione dell'immagine.

Il formato .jpeg (Join Photographic Experts Group) sfrutta questa tecnica e consente di visualizzare immagini con più di 256 colori o di considerevoli dimensioni. In questo formato è possibile definire la percentuale di compressione e quindi la qualità dell'immagine. Questa tecnica di compressione viene utilizzata per codificare immagini in movimento nei formati .mpeg (Moving Picture Experts Group) e .wmv (Windows Media Video).

IMMAGINI VETTORIALI

La rappresentazione vettoriale delle immagini viene utilizzata particolarmente per immagini di tipo geometrico, o per immagini riconducibili a insiemi di forme (punti, linee, rettangoli, cerchi). E' caratterizzata dal fatto che non viene memorizzata l'immagine ma il procedimento per costruirla, consentendo il doppio vantaggio di diminuire enormemente l'occupazione di memoria e di ottenere immagini facilmente ridimensionabili.

Ogni oggetto è quindi codificato attraverso un identificatore (es. polyline, circle,...) e alcuni parametri quali le coordinate del centro e la lunghezza del raggio (per la circonferenza) o le coordinate dei vertici (per il poligono).

Ricordiamo i seguenti formati:

1. DXF(Drawing Exchange Format): strumenti di disegno tecnico;
2. DWG: utilizzato da AutoCAD;
3. CDR: utilizzato da Corel Draw;
4. AI (Adobe Illustrator);
5. WMF (Windows MetaFile);
6. SVG (Scalable Vector Graphics): nativo in quasi tutti i browser moderni.

Il processo di visualizzazione di un'immagine vettoriale (cioè la trasformazione da una codifica matematica ad una codifica raster) è detto rasterizzazione o rendering.

Questa rappresentazione non è però utilizzabile per immagini pittoriche, che non possono essere scomposte in elementi primitivi.

FILMATI DIGITALI

Le immagini in movimento vengono rappresentate attraverso sequenze di immagini fisse (frame) visualizzate a una frequenza sufficientemente alta da consentire all'occhio umano di ricostruire il movimento.

Come per le immagini, anche per i filmati è necessario convertire in digitale ogni singolo fotogramma per poterlo memorizzare in digitale e successivamente riconvertirlo in analogico nell'istante di riproduzione sullo schermo.

E' possibile digitalizzare filmati provenienti da telecamere o da un sintonizzatore TV utilizzando apposite schede e software video, e successivamente ricostruire le animazioni di sintesi utilizzando sempre particolari programmi.

Lo spazio occupato da un'animazione dipende da molti fattori, tra i quali il più

importante è il framerate: l'animazione è l'effetto che si ottiene sfruttando la tecnica cinematografica che si basa sul fatto fisiologico della persistenza di un'immagine sulla retina per un tempo relativamente lungo (1/10 di secondo); scomponendo un movimento in un insieme di fasi successive (fotogrammi o frame) in modo che ciascuna fase succeda alla precedente in un periodo di tempo inferiore a quello di tale permanenza, ciascuna immagine si sovrappone alla precedente prima che questa scompaia dalla retina; ne consegue una visione continua del movimento che si traduce in un'unica impressione di moto, come avviene nella visione diretta.

Più elevato è il numero di frame per secondo (framerate), migliore è la qualità di movimento del filmato: oggi varia da 4 al secondo per le moviole a 40 al secondo. Generalmente viene usata la proiezione a 24 fotogrammi al secondo (la qualità TV è di 30 al secondo, sul Web scende a 15/10 al secondo).

Per un filmato di qualità incidono, oltre al numero di frame, le proprietà:

1. la dimensione dei fotogrammi
2. il numero di colori
3. la qualità dell'audio
4. la qualità del commento sonoro (che viene codificato come un file audio e sincronizzato alle immagini).

Esistono diversi formati video: i più diffusi sono AVI (Audio Video Interleave), MPEG (Moving Picture Experts Group) e MOV (abbreviazione di movie), che si differenziano per la modalità, le caratteristiche di acquisizione e la tecnica di compressione utilizzata.

SUONI DIGITALI

Oltre alle immagini è possibile rappresentare in modo digitale anche il suono: anche per esso deve essere effettuata una prima fase di conversione che trasforma il segnale analogico tipico dell'onda sonora in segnale digitale, e successivamente si utilizzano codifiche particolari per la memorizzazione della musica digitale così ottenuta.

Il suono è un segnale analogico bidimensionale, cioè ha un'ampiezza in funzione del tempo.

In generale per tradurre un qualunque segnale analogico nel corrispettivo digitale sono necessari i seguenti passaggi:

il trasduttore (per esempio un microfono) trasforma l'onda sonora $s(t)$ in un segnale elettrico $x(t)$ e il campionatore effettua una discretizzazione, cioè a intervalli di tempo T regolari preleva campioni del segnale $x(t)$. Successivamente il quantizzatore converte il segnale acquisito dal campionatore in un segnale digitale introducendo sempre una perdita di informazione, che può essere definita sulla base del numero di bit a disposizione per rappresentare il valore letto (vengono definiti livelli di quantizzazione).

Per esempio si possono avere 16 livelli di quantizzazione, rispettivamente 8 per la semionda positiva e 8 per quella negativa, codificati con 4 bit; naturalmente all'aumentare del numero di bit, aumenta il dettaglio e quindi la qualità del segnale digitalizzato. La precisione con cui il segnale originario può essere ricostruito a partire dal segnale digitale, mediante una procedura detta di conversione digitale-analogica,

può essere stabilita a priori e cresce all'aumentare della frequenza del campionamento e del numero di livelli di quantizzazione considerati.

Naturalmente all'aumentare della frequenza di campionamento, aumenta il numero di informazioni lette così come la dimensione in bit e quindi l'occupazione di memoria: la frequenza minima di campionamento, cioè il numero minimo di letture al secondo che permette di non perdere segnale utile, è dettata dai teoremi di Shannon.

Il quantizzatore, invece, introduce sempre una perdita di informazione, che per essere contenuta richiede l'aumento del numero di livelli di quantizzazione.

Le normali schede di digitalizzazione presenti nei pc permettono campionamenti che vanno da 8000 a 48000 Hz e ogni valore campionato può essere rappresentato con 8, 16, 32 bit.

IL FORMATO WAV

Il formato WAV (WAVEform audio file format) è lo standard utilizzato nei CD audio (Compact Disc Digital Audio, CDDA), per la registrazione audio digitale su compact disc: il valore di campionamento è di 44.100 HZ con quantizzazione su 16 bit, quindi per ogni campione si possono avere 2^{16} valori di codifica con 44.100 campioni per ogni secondo di segnale.

Dato che in stereofonia si utilizzano due canali audio, per ogni secondo vi sono 88.200 campioni, ognuno dei quali richiede 16 bit di codifica: $16 \times 88.200 = 1.411.200$ bit, circa 1,4 Mbit per secondo.

BITRATE: quantità di bit al secondo necessaria per codificare un segnale. Il bitrate di un segnale audio codificato con CDDA è 1,4 Mbit/s.

Esempio: calcoliamo la dimensione di un supporto per memorizzare 70 minuti di musica digitale. In un'ora abbiamo 3600 secondi, quindi sono necessari $1,4 \times 3600 = 5040$ Mbit = 630 MB. Per questo motivo in un CD-ROM di 700 MB si possono memorizzare quasi 70 minuti di musica digitale.

MP3

Formato di compressione dei dati MPEG-1 Audio Layer III data è particolarmente adatto per i file audio e presenta un rapporto di compressione altissimo che riduce di 12 volte l'ingombro del file audio senza alterarne la qualità. L'algoritmo MP3 si basa sulla soglia di udibilità della'apparato uditivo umano che percepisce i suoni entro un determinato spettro di frequenza, al di sotto e al di sopra del quale i suoni non vengono percepiti. Vengono pertanto eliminati dal file musicale tutti i suoni non udibili e questo garantisce un notevole risparmio nella lunghezza del file. Il bitrate di 128 kilobit al secondo è ritenuto di qualità accettabile per il formato MP3, qualità che si avvicina a quella di un CD. Il tasso di compressione si avvicina al rapporto di 11 a 1.

MIDI

Il Musical Instrument Digital Interface è un protocollo che nasce negli anni '80 per consentire la comunicazione e lo scambio di informazioni musicali tra strumenti musicali di marche diverse, fino ad allora impensabile perché tutti i sistemi analogici erano tra loro incompatibili e poco precisi. Le informazioni musicali ora in formato digitale vengono scambiate tra strumenti, sintetizzatori musicali (reali e virtuali) e

computer.

Il file MIDI ha dimensioni molto contenute, se un file WAV occupa 30 MB, un file MIDI occupa 30 KB: nel formato MIDI non è presente il suono (timbro) ma solamente il codice dello strumento e un numero che individua la nota e il suo valore musicale; in altre parole invece di campionare il suono, un file MIDI registra gli eventi che generano il suono, come il tasto premuto sulla tastiera, la durata, l'intensità ecc.

La riproduzione avviene tramite un sintetizzatore MIDI che genera suoni corrispondenti alle informazioni che riceve: non è presente il cantato ma generalmente solo uno strumento solista, perciò un'ora di musica può occupare solo 500KB. La qualità della riproduzione dipende esclusivamente dal sintetizzatore (scheda audio) del computer che riproduce il suono.

Poiché non esiste un programma che converta i file musicali WAV in MIDI, i produttori di file MIDI sono abili strumentisti che senza partitura suonano a orecchio i pezzi su normali strumenti musicali dotati di "sequenze", un convertitore di note suonate, nel corrispondente codice MIDI.

Concludendo: un filmato di un'ora non compresso si divide in video e audio; se il framerate del video è 24 con 1920 x 1080 pixel in true color, per ogni secondo servono $1920 \times 1080 \times 3 \times 24 = 149 \text{ MB}$ e per un'ora avremo circa 536 GB di spazio occupato. In un sistema Dolby TrueHD l'audio è codificato con 8 canali, con frequenza di campionamento di 96 KHz codificati su 24 bit; per ogni secondo di audio serviranno $24 \times 96.000 \times 8 = 18,4 \text{ Mbit/s}$ e per un'ora di audio serviranno $18,4 / 8 \times 3600 = 8 \text{ GB}$ di spazio. Totale 544 GB per il filmato non compresso. Un disco blu-ray può contenere solo 46 GB, pertanto è necessaria la compressione.