



**Autore: Francesco Marino**  
<http://www.francescomarino.net>  
[info@francescomarino.net](mailto:info@francescomarino.net)

## Esercitazione n. 10

### Formati di codifica numerica del suono

Classe:

Gruppo:

Data	Alumni assenti

Al termine di questa esercitazione ciascun alunno dovrà essere in grado di conoscere i principali formati di codifica di un programma di registrazione audio, nonché di scegliere il formato adatto in base alla fedeltà e alla occupazione di memoria richieste. L'esercitazione è basata sul *Registratore di suoni* di Windows 95 e successivi per la conversione in diversi formati, e sulla Demo di *Sound Forge*, in grado di aprire più file contemporaneamente, per l'ascolto e il confronto (tale programma è funzionante ma poiché non è abilitato il salvataggio non può essere utilizzato per la prima fase). Per poter apprezzare le differenze tra i vari formati è consigliato l'ascolto in cuffia collegando la stessa direttamente all'uscita della scheda audio.

## Svolgimento

1) Copiare in una directory di lavoro il file *The Microsoft Sound.wav* presente in Windows 98 nella directory *C:\Windows\Media*; rinominare il suddetto file come *PCM-22k-16bit-Stereo.wav*. Aprire il file con il Registratore di suoni di Windows e selezionare *File/Proprietà* per evidenziare le sue caratteristiche. Come visibile dalla finestra aperta, il suono è stereofonico in formato PCM lineare con frequenza di campionamento pari a 22050 Hz e codifica su 16 bit; la sua durata è pari a 7,85 s. Aprendo lo stesso file con *Sound Forge* e selezionando *File/Properties...* si ottengono le medesime informazioni, ma con dettaglio maggiore: la durata del suono è pari a circa 7,858 s per 173280 campioni esatti per canale. Le dimensioni del file, peraltro indicate dai suddetti programmi, possono essere calcolate moltiplicando il numero di campioni per 2 (suono stereo) e per 16 (numero di bit di codifica di un campione), e dividendo il risultato per 8 (passaggio da bit a byte):

$$\frac{173280 \cdot 2 \cdot 16}{8} = 693120 \text{ byte}$$

Tale risultato corrisponde alla voce *Dimensione dati* presente nelle proprietà del Registratore di suoni, mentre la dimensione esatta del file è pari a 693212 byte, a causa della presenza, nell'intestazione del file, della descrizione del formato necessaria alla decodifica del flusso binario, nonché di informazioni varie (autore, copyright, etc.). Si noti che per il calcolo approssimato delle dimensioni del file sono sufficienti le informazioni disponibili nel Registratore di suoni; il numero approssimato di campioni si può infatti ottenere moltiplicando la durata del suono per la frequenza di campionamento:

$$7,85 \cdot 22050 = 173092,5 \text{ campioni}$$

2) Calcolare le dimensioni dei file che si ottengono codificando il suono esaminato al punto 1 nei formati indicati nella tabella che segue, assumendo la durata del suono pari a 7,85 s. Nei casi in cui il flusso non è indicato il suo valore deve essere calcolato sulla base delle informazioni disponibili.

<i>Formato</i>	<i>Stereo/Mono</i>	<i>Frequenza di camp. (Hz)</i>	<i>Bit di codifica</i>	<i>Flusso (bit/s)</i>	<i>Flusso (byte/s)<sup>(1)</sup></i>	<i>Dimensione file (byte)</i>
PCM (Qualità CD)	Stereo	44100	16			
PCM <sup>(2)</sup>	Stereo	22050	16			
PCM (Qualità radio)	Mono	22050	8			
PCM (Qualità telefono)	Mono	11025	8			
PCM	Mono	8000	8			
CCITT A-Law <sup>(3)</sup> (PCM logaritmico)	Mono	8000	8			
Microsoft ADPCM (PCM logaritmico differenziale)	Mono	8000	4			
GSM 6.10	Mono	8000	/	13000		
MPEG Layer 3 (MP3) Qualità CD <sup>(4)</sup>	Stereo	44100	/	128000		

1. Il flusso calcolato può differire da quanto indicato nel Registratore di suoni, in quanto tale programma esprime i valori in kbyte/s utilizzando multipli informatici (1 kbyte = 1024 byte) e approssimando il risultato alle unità.
2. Tale formato è quello originario del file esaminato al punto 1.
3. La legge A-Law è una specifica utilizzata in passato in Europa dai compander analogici per determinare la quantizzazione logaritmica del segnale PCM, e può essere presa come riferimento anche per definire le tabelle per il companding numerico.
4. Tale formato, non presente nel Registratore di suoni, è inserito in tabella a titolo di confronto con gli altri formati audio, tra cui in particolare il formato PCM a qualità CD.

Si noti, nella tabella precedentemente compilata, il notevole risparmio di memoria (compressione 1:11) ottenuto dal formato MP3 rispetto al PCM a qualità CD, praticamente senza perdita di fedeltà. Tali due formati sono esclusi dalla esercitazione che segue in quanto il file originale è campionato a 22050 Hz e non ha senso la sua conversione in un formato a più alta frequenza di campionamento per un successivo confronto (tra l'altro il formato MP3 a 128 kbit/s non è presente nel Registratore di suoni). Se si vuole confrontare il PCM a qualità CD con l'MP3 a 128 kbit/s è sufficiente codificare una traccia audio di un CD musicale mediante un encoder MP3 (come ad es. MusicMatch Jukebox versione 5 o successiva) e ascoltare le due versioni in cuffia.

3) Convertire il file *PCM-22k-16bit-Stereo.wav* in formato PCM a qualità radio utilizzando il pulsante *Converti...* nella finestra *Proprietà* del Registratore di suoni (fig. 1). Dopo aver chiuso la finestra *Proprietà* salvare il file mediante *File/Salva con nome...* assegnando al file il nome *PCM-22k-8bit-Mono.wav*. Aprire nuovamente il file originale *PCM-22k-16bit-Stereo.wav* e ripetere la procedura convertendo il suono nei formati indicati nella tabella al punto 2, tranne PCM a qualità CD e MP3. Si raccomanda di effettuare le conversioni sempre a partire dal file originale, in modo da limitare al minimo la degradazione. Al termine delle operazioni di conversione dovranno essere presenti nella directory di lavoro i seguenti file, elencati in ordine di qualità audio decrescente:

*PCM-22k-16bit-Stereo.wav*  
*PCM-22k-8bit-Mono.wav*  
*PCM-11k-8bit-Mono.wav*  
*PCM-8k-8bit-Mono.wav*  
*A-Law-8k-8bit-Mono.wav*  
*ADPCM-8k-4bit-Mono.wav*  
*GSM610-8k-Mono.wav*

Verificare che le dimensioni dei suddetti file corrispondano approssimativamente con quelle calcolate nella tabella al punto 2.

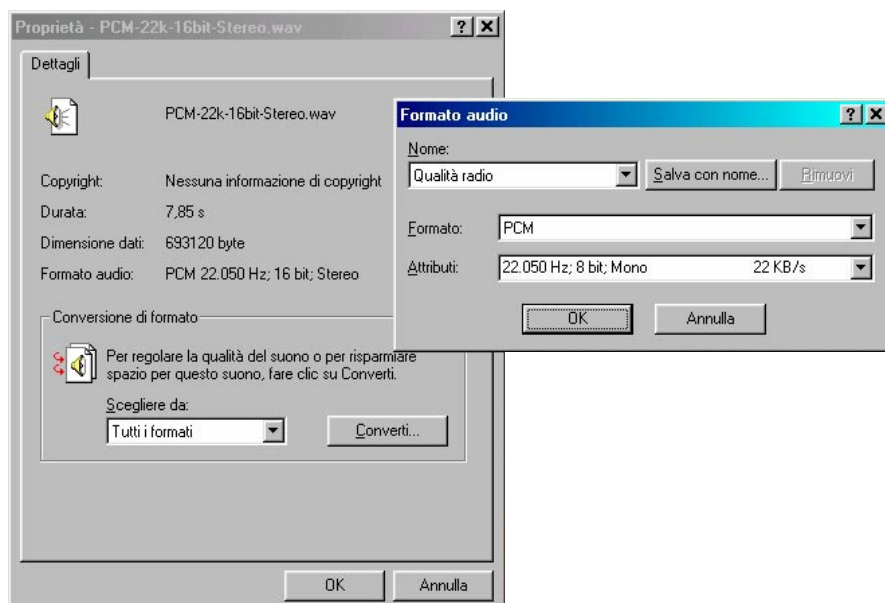


Fig. 1

4) Aprire un nuovo file con il Registratore di suoni mediante il comando *File/Nuovo*. Aprire la finestra *Proprietà*, cliccare su *Converti...* e selezionare per il nuovo file il formato PCM a 44 100 Hz su 16 bit Mono. Registrare qualche secondo di parlato e salvare il file in una nuova directory di lavoro con il nome *PCM-44k-16bit.wav*. Sulla base della durata del suono, indicata nella finestra *Proprietà*, compilare la tabella che segue.

<i>Formato</i>	<i>Stereo/Mono</i>	<i>Frequenza di camp. (Hz)</i>	<i>Bit di codifica</i>	<i>Flusso (bit/s)</i>	<i>Flusso (byte/s)</i>	<i>Dimensione file (byte)</i>
PCM	Mono	44100	16			
PCM	Mono	22050	16			
PCM (Qualità radio)	Mono	22050	8			
PCM (Qualità telefono)	Mono	11025	8			
PCM	Mono	8000	8			
CCITT A-Law (PCM logaritmico)	Mono	8000	8			
Microsoft ADPCM (PCM logaritmico differenziale)	Mono	8000	4			
GSM 6.10	Mono	8000	/	13000		

5) Analogamente che al punto 3, convertire il file *PCM-44k-16bit.wav* nei formati indicati nella tabella al punto 4, ricordando di effettuare le conversioni sempre a partire dal file originale. Al termine delle operazioni di conversione dovranno essere presenti nella directory di lavoro i seguenti file, elencati in ordine di qualità audio decrescente:

*PCM-44k-16bit.wav*  
*PCM-22k-16bit.wav*  
*PCM-22k-8bit.wav*  
*PCM-11k-8bit.wav*  
*PCM-8k-8bit.wav*  
*A-Law-8k-8bit.wav*  
*ADPCM-8k-4bit.wav*  
*GSM610-8k.wav*

Verificare che le dimensioni dei suddetti file corrispondano approssimativamente con quelle calcolate nella tabella al punto 4.

6) Aprire contemporaneamente mediante Sound Forge i file elencati al punto 3 (fig.2). Ascoltare i file (possibilmente in cuffia) per un confronto qualitativo.

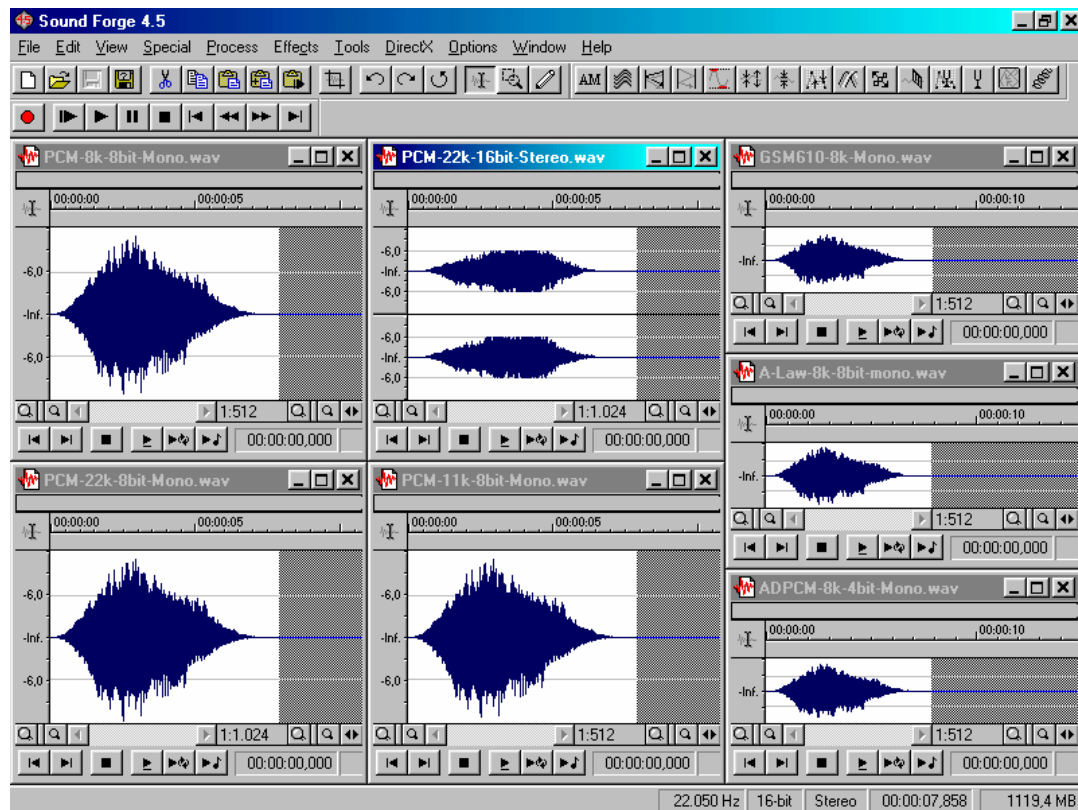


Fig. 2

Dal confronto tra diversi formati eseguito in ordine di qualità decrescente è possibile osservare che:

- Nel passaggio da PCM a 22 kHz su 16 bit Stereo a PCM a 22k su 8 bit Mono si determina la perdita di spazialità del suono dovuta alla conversione stereo-mono con fusione dei due canali al centro, accompagnata da una notevole perdita di nitidezza dovuta alla conversione da 16 a 8 bit. In particolare si può notare nei passaggi a basso livello (all'inizio e alla fine del suono) una rilevante distorsione con presenza di alte frequenze (una specie di sfrigolio) dovuta alla maggiore influenza del rumore di quantizzazione. A tale proposito si deve considerare che nel passaggio da 16 a 8 bit ben 256 livelli vengono sostituiti da un solo livello e pertanto una forma d'onda oscillante di piccola ampiezza viene sostituita da una forma d'onda squadrata ricca di alte frequenze; tutto ciò può essere verificato utilizzando le funzioni di zoom delle finestre di Sound Forge (fig. 3).
- Nel passaggio da PCM a 22 kHz su 8 bit a PCM a 11 kHz su 8 bit si determina una evidente perdita nelle alte frequenze, dovuta alla dimezzata frequenza di campionamento (si ricorda che la larghezza di banda del segnale è inferiore alla metà della frequenza di campionamento).
- Nel passaggio da PCM a 11 kHz su 8 bit a PCM a 8 KHz su 8 bit si determina una perdita nelle alte frequenze analoga a quella evidenziata al punto b, ma meno marcata per la minore riduzione in percentuale della frequenza di campionamento.
- I suoni A-Law e ADPCM hanno sostanzialmente la stessa qualità. Rispetto al PCM puro a 8 kHz su 8 bit si può evidenziare una notevole riduzione della distorsione ai bassi livelli, conseguenza del migliore comportamento in termini di rumore di quantizzazione del PCM logaritmico.
- Il suono GSM 6.10 ha una qualità del tutto inaccettabile. Tale risultato è facilmente spiegato dal fatto che la codifica GSM 6.10 si basa su un modello del parlato umano e può fornire una qualità confrontabile a quella degli altri formati telefonici solo nel caso specifico dei segnali vocali.

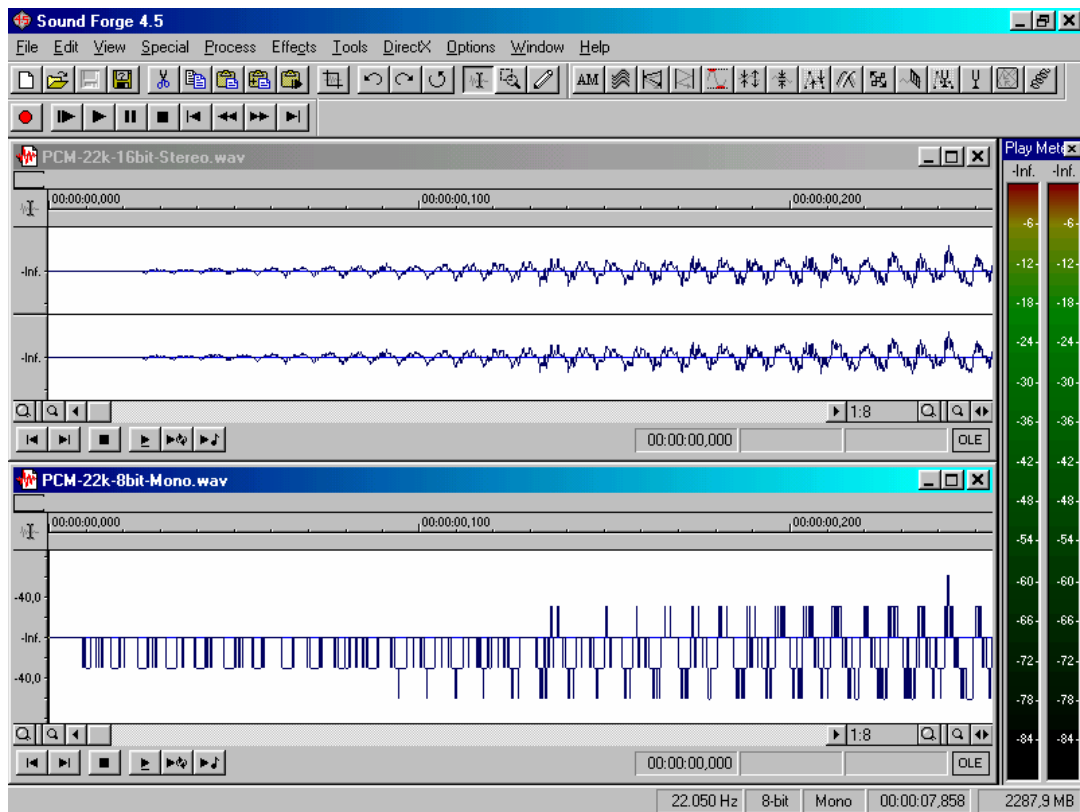


Fig. 3

7) Aprire contemporaneamente mediante Sound Forge i file elencati al punto 5 (fig.4). Ascoltare i file (possibilmente in cuffia) per un confronto qualitativo.

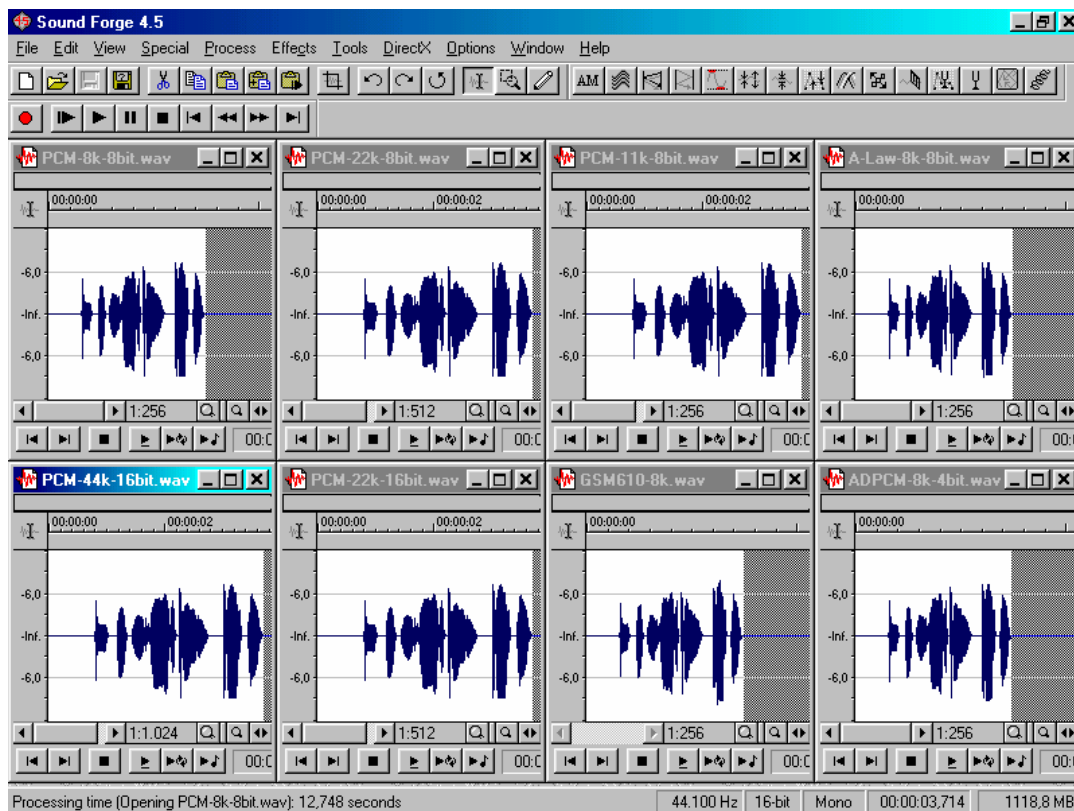


Fig. 4

Dal confronto tra diversi formati eseguito in ordine di qualità decrescente è possibile osservare che:

- I suoni PCM a 44 kHz su 16 bit e PCM a 22k su 16 bit hanno la stessa qualità. La riduzione della larghezza di banda del segnale da 20 a 10 kHz non viene infatti percepita poiché lo spettro della voce umana non si estende oltre i 10 kHz.
- Nel passaggio da PCM a 22 kHz su 16 bit a PCM a 22 kHz su 8 bit si determina una leggera perdita di qualità accompagnata in particolar modo da una rilevante presenza di rumore durante le pause (è lo stesso effetto rilevato al punto 6a e rappresentato in fig. 3).
- Nel passaggio da PCM a 22 kHz su 8 bit a PCM a 11 kHz su 8 bit si determina una evidente perdita nelle alte frequenze, dovuta alla dimezzata frequenza di campionamento che questa volta incide sul risultato.
- Nel passaggio da PCM a 11 kHz su 8 bit a PCM a 8 kHz su 8 bit si determina una perdita nelle alte frequenze analoga a quella evidenziata al punto c, ma meno marcata per la minore riduzione in percentuale della frequenza di campionamento.
- I suoni A-Law, ADPCM e GSM 6.10 hanno sostanzialmente la stessa qualità (solo nel GSM si registra una certa metallicità tipica delle codifiche per modelli). Rispetto al PCM puro a 8 kHz su 8 bit si può evidenziare una notevole riduzione del rumore durante le pause, conseguente per A-Law e ADPCM al migliore comportamento in termini di rumore di quantizzazione del PCM logaritmico, e per GSM al fatto che il segnale che subisce la codifica è originariamente a un numero di bit maggiore di 8 (in questo caso 16 perché si utilizza un PC).