

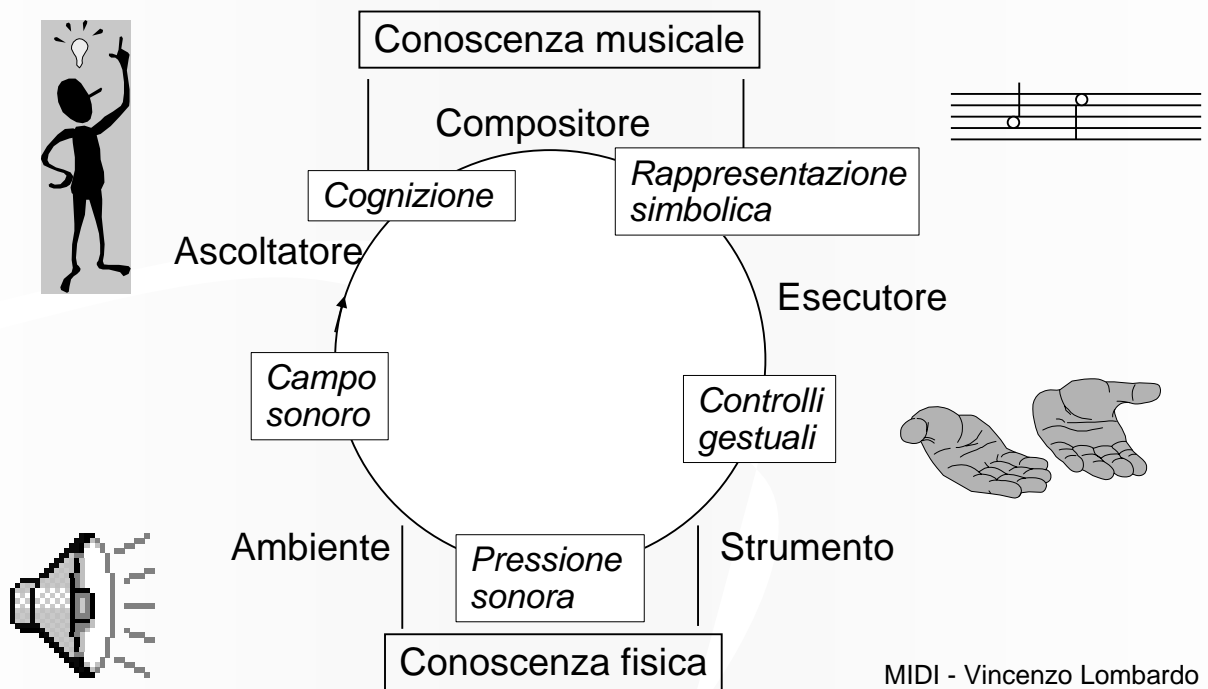
# II MIDI: Musical Instrument Digital Interface

MIDI - Vincenzo Lombardo

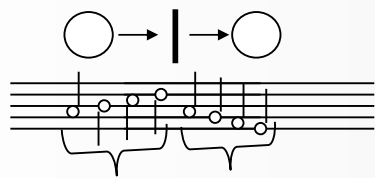
# Audio e musica

- La musica è un tipo speciale di audio
- Come si rappresenta la musica?
- Quali sono le operazioni eseguite sui dati musicali?

# Computer Music: processi e dati



# Livelli di rappresentazione



Livello strutturale *Grammatiche, Reti di Petri*



Livello simbolico *Common Practice Notation*



Livello operativo *Gesti esecutore, strumenti musicali*



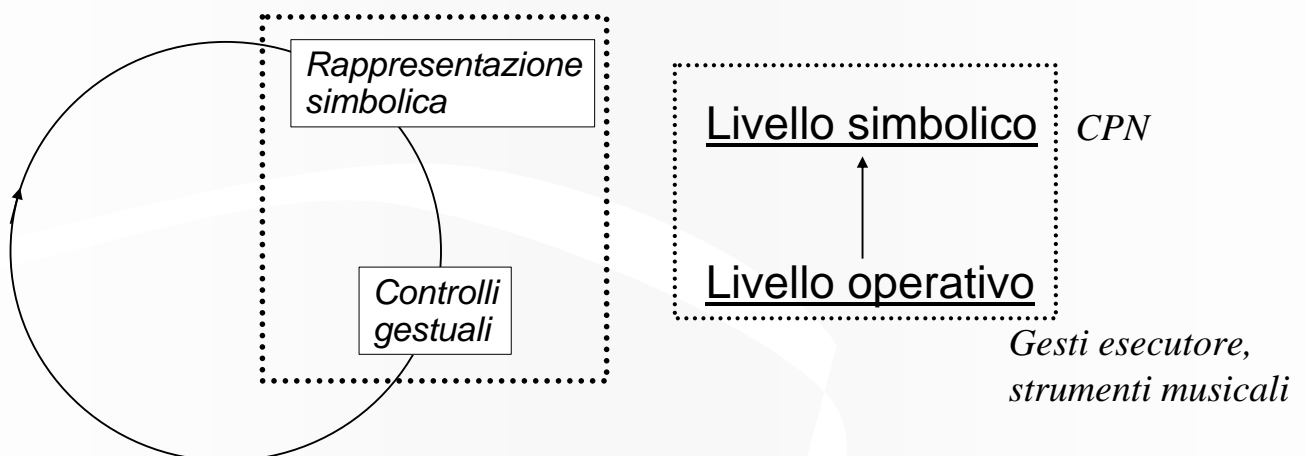
Livello percettivo *Volume, altezza, timbro*



Livello fisico *Ampiezza, frequenza, forma d'onda*

MIDI - Vincenzo Lombardo

# Dove si posiziona il MIDI



## La rappresentazione della musica

- *espressività*: quali simboli deve includere la rappresentazione
- fino a punto la rappresentazione specifica la performance: *operativa VS simbolica*

## Che cos'è il MIDI

- Un protocollo “standard”
- Rappresenta una performance musicale come dati
- Informazione codificata in messaggi MIDI
  - istruzioni per un sintetizzatore
  - il sintetizzatore genera i suoni effettivi sulla base dei dati MIDI

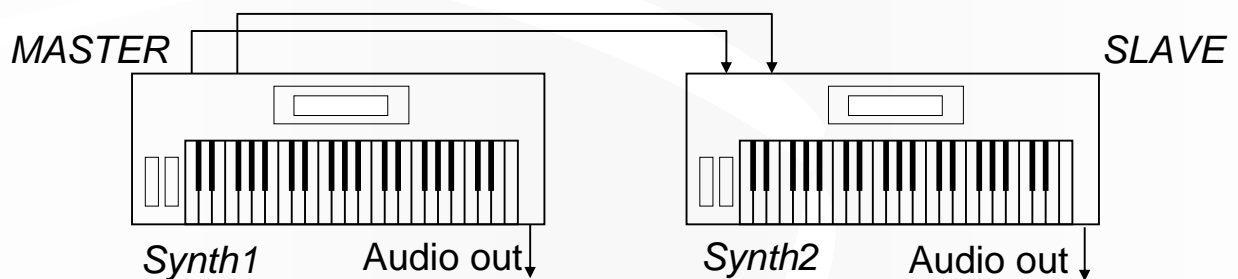
## Registrazione e riproduzione con il MIDI

- Protocollo molto usato per il controllo di sistemi musicali digitali
- Il sequencer
  - registra una performance umana su una tastiera in termini di informazioni di controllo
  - ricrea la performance reinviando i dati lungo il cavo MIDI alla tastiera o alla scheda audio



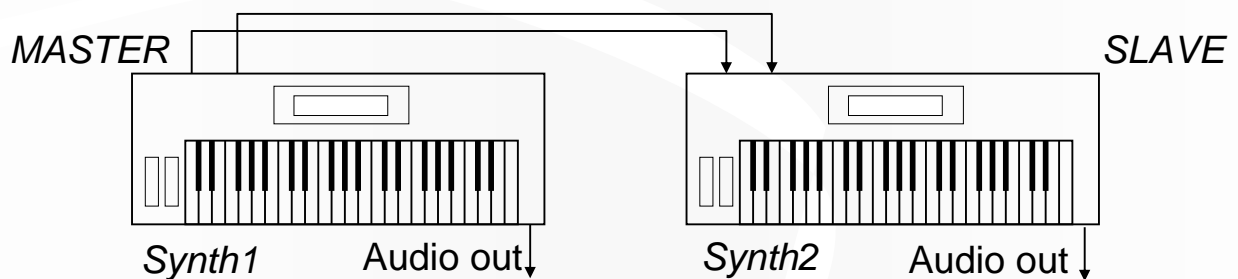
## Come nasce il MIDI

- Limitazioni dei primi sintetizzatori (monofonici e con pochi timbri)
- Integrazione di più sintetizzatori per produrre suoni più ricchi



## Come nasce il MIDI (2)

- Problema della comunicazione
  - altezza e ampiezza di una nota
  - sincronizzazione



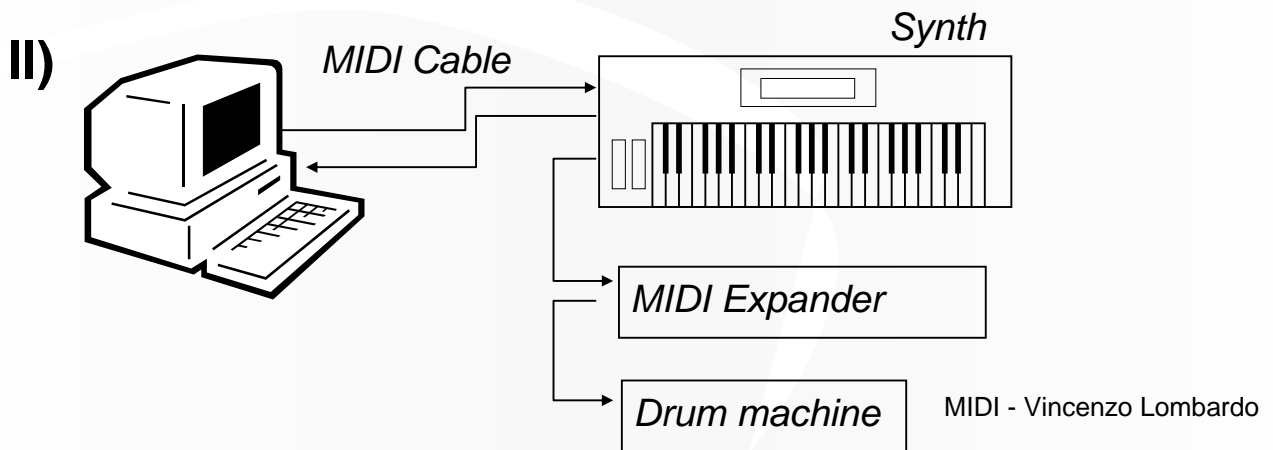
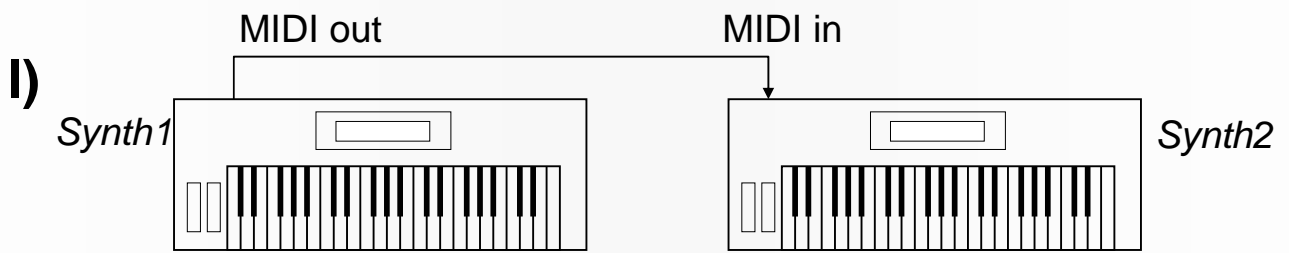
# Cronologia

- Inizio anni '80: necessità di uno standard per la comunicazione tra i sintetizzatori
  - problemi di cavi, differenze di volt, ...
  - protocollo USI (Universal Synthesizer Interface)
- fine '81: l'Audio Eng. Soc. esamina USI
  - modifiche e integrazioni con la partecipazione dei maggiori produttori di strumenti elettronici
  - nel 1983 nasce lo standard dal nome MIDI

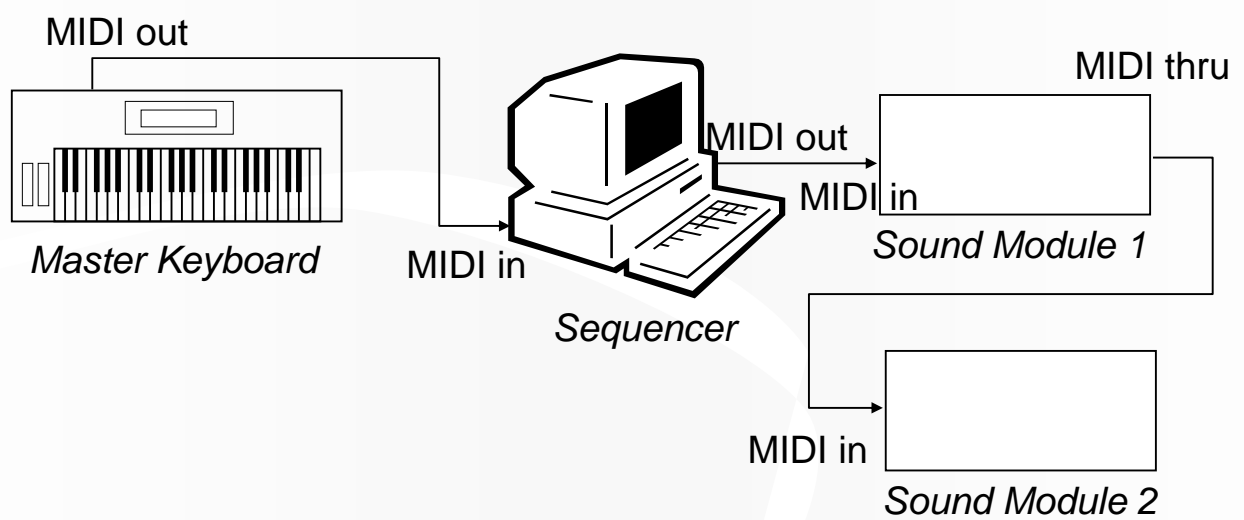
## Il successo del MIDI

- Basso costo: ok per produttori e utenti
- Esigenza di avere uno standard
- Possibilità di comunicare tra marche
- Comunicazione tra strumenti e altri dispositivi elettronici (computer, sequencer, controllo luci, mixer, ...)

# Collegamenti MIDI



# Sistema MIDI in generale

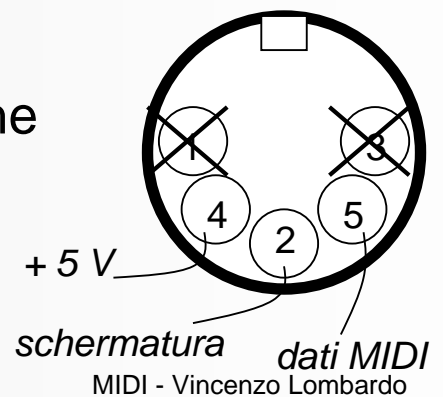


## Due concetti del MIDI

- **Interfaccia MIDI: hardware necessario per la comunicazione tra strumenti**
- **Protocollo di comunicazione MIDI: insieme di regole per interpretare univocamente tutti i messaggi**

## Interfaccia MIDI

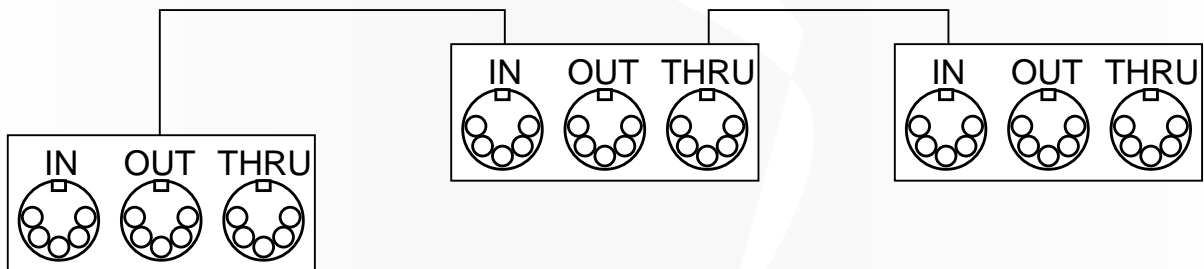
- Interfaccia seriale asincrona
- Velocità: 31.250 bit/sec
- Connettori di tipo DIN a 5 pin
  - tipici degli impianti audio
  - ma trasportano info numeriche





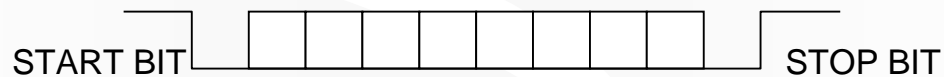
## Interfaccia MIDI (2)

- Porte fisiche (connettori)
  - MIDI In: riceve segnali dall'esterno
  - MIDI Out: trasmette info MIDI all'esterno
  - MIDI Thru: trasmette all'esterno la copia esatta delle info ricevute al MIDI In



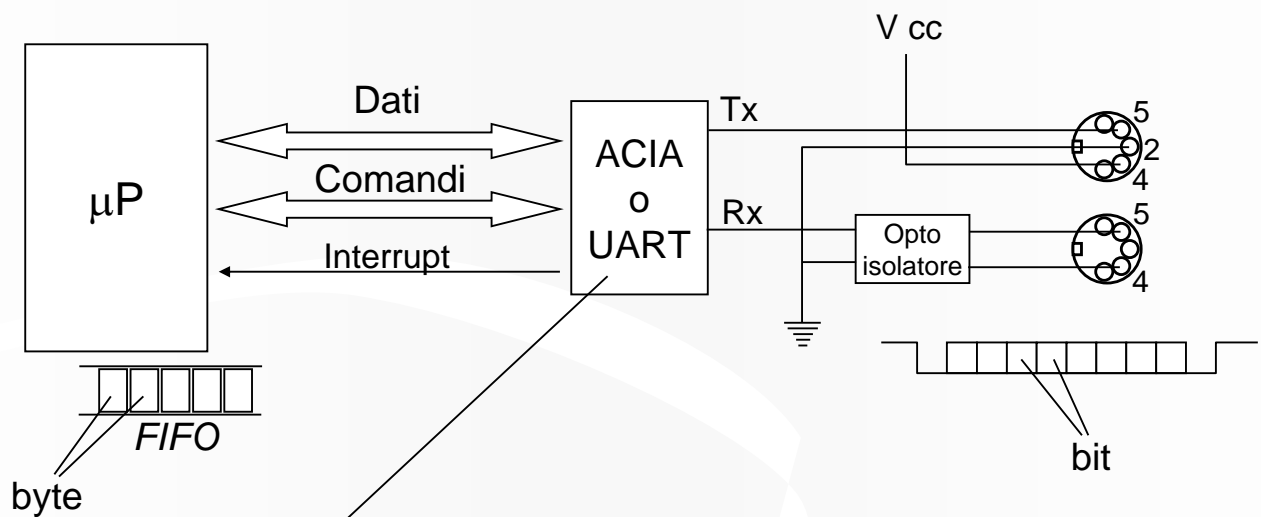
## Interfaccia MIDI (3)

- Lunghezza max dei cavi: 15 m (50 piedi)
- Formato dei pacchetti
  - per trasmettere un byte (8 + 2 bit): 320  $\mu$ sec



- Occorrono convertitori parallelo/ seriale

## Interfaccia MIDI (4)

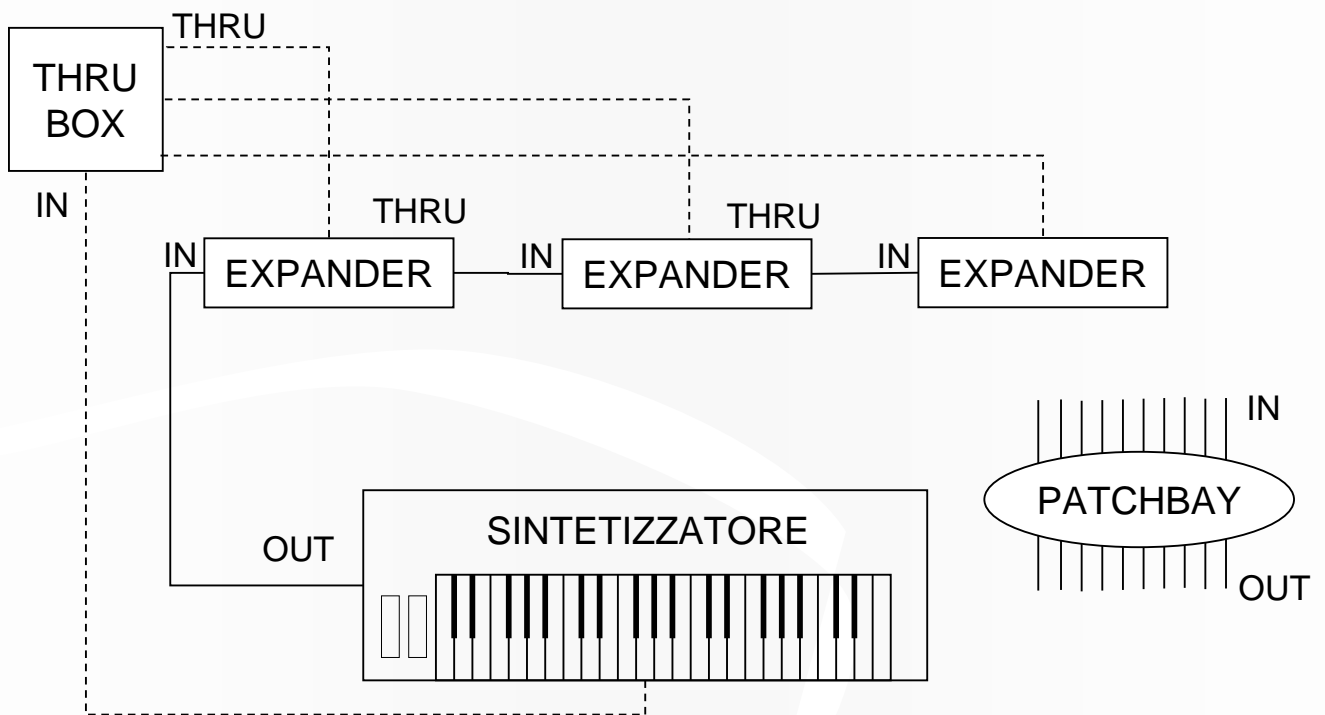


ACIA – Asynchronous Communication Interface Adapter  
UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

## Interfaccia MIDI (5)

- *Editor (sequencer)*: programmi per brani musicali come sequenze di eventi complessi
- *Expander*: generatori di suono (sintetizzatori, campionatori, ...)
- *Controller*: generatori di messaggi MIDI (tastiere, MIDI-sax, drum-pads, ...)

# Schemi di connessione



## Il protocollo MIDI

- Comunicazione attraverso messaggi
- I messaggi non rappresentano una forma d'onda
- Solo informazioni di controllo: *NoteOn*

## I canali

- “strade per la comunicazione”
- indirizzano i messaggi agli expander
- il MIDI ha 16 canali per la comunicazione
- i device possono rispondere a 1 o più canali

# Le chiavi (128)



C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	Ottava
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	-1
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	1
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	2
48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	3
<b>60</b>	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	4
72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	5
84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	6
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	7
108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	8
120	121	122	123	124	125	126	127					9



## La song

- sequenza di messaggi MIDI
- registrata sulla memoria di un device MIDI o in un MIDI file

# Temporizzazione

- I messaggi MIDI includono l'informazione temporale (timestamp)
- Clock con unità di misura (timebase) speciale: *PPQ* (parti per quarto) o *ticks*
- Valori tipici: 24, 96, 480 (tutti multipli di 24)

## Il tempo effettivo

- Conversione da timebase in tempo effettivo
- Occorre sapere quanto dura un quarto/beat
- BPM = beat per minuto

## Esempio

- 120 BPM, Timebase = 24 ticks
- 120 BPM = 2 beat/sec, cioè 0,5 sec per 1 beat
- 24 ticks in un beat, cioè in 0,5 sec
- $0,5 / 24 = 0,020833$  sec = circa 21 msec
- Quindi 1 tick dura circa 21 msec

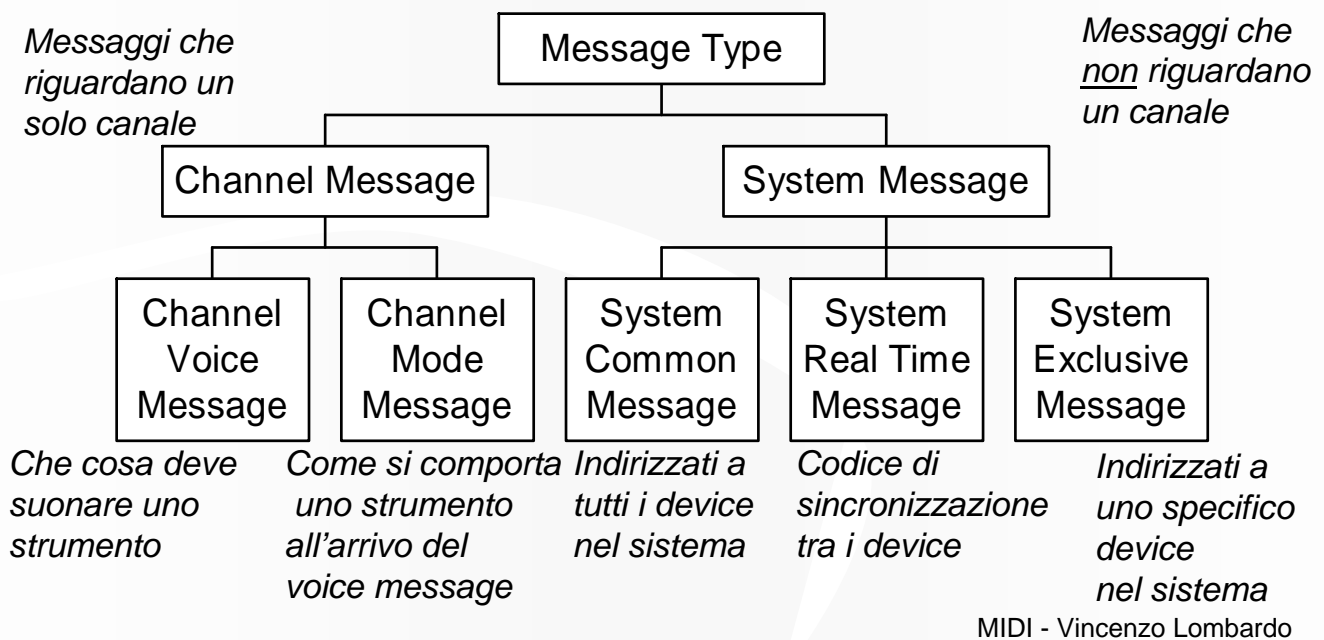
## Sincronizzazione MIDI

- Device master con internal sync: produce un clock message ogni 24 PPQ
- Device slave con external sync: usano il clock message che arriva dal master
- Il tempo del master controlla tutto il sistema

# I messaggi MIDI

- **Struttura generale di un messaggio**
  - Status byte: identifica il messaggio (80H-FFH)
  - 1 o 2 Data byte: il messaggio (00H-7FH)
- **Eccezioni: messaggi Real Time, Exclusive**

# La tassonomia dei messaggi



## Channel Message: Status byte

- primi 4 bit: codice di identificazione del messaggio (tra 1000 e 1110)
- secondi 4 bit: identificazione del canale

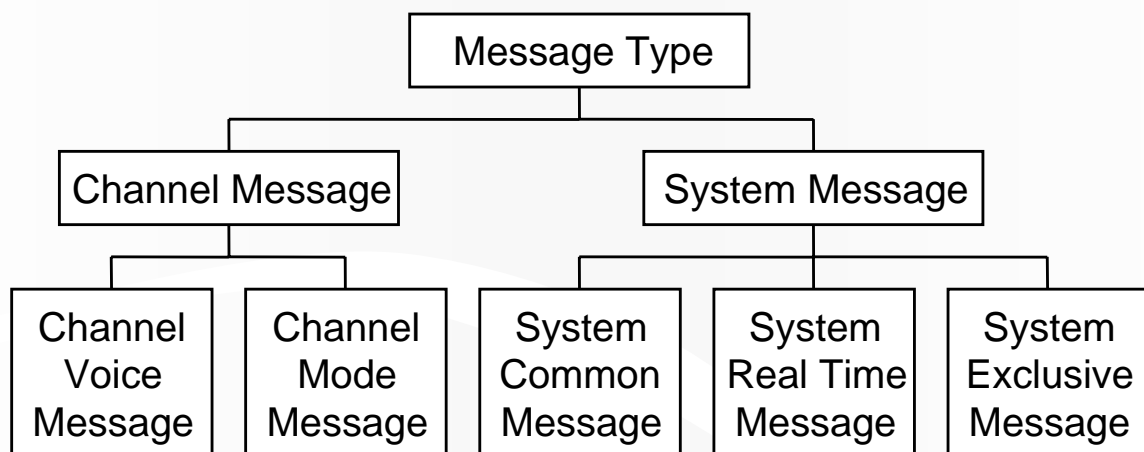
<i>MSB</i>	<i>6</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>Message type</i>
1	0	0	0	Uno dei				Note off
1	0	0	1	sedici				Note on
1	0	1	0	canali: 4 bit				Aftertouch
				(0..15)				



## Channel Message: Data Bytes

- 1 o più byte
- Iniziano con 0: 0DDD DDDD
- 128 valori a disposizione

# Channel Voice Messages



- *descrivono che cosa deve suonare uno strumento (eventi musicali)*

# Note On

- si invia quando per attivare una nota
  - tasto di una tastiera
  - pad di una batteria elettronica
- 2 data bytes
  - numero nota (Do centrale = 60)    0NNN NNNN
  - velocity: forza con cui si pigia un tasto (ampiezza dell'output, eventualmente timbro) 0VVV VVVV

## Note Off

- si invia per disattivare una nota
- 2 data bytes
  - numero della nota      0NNN NNNN
  - velocity: applicata al rilascio 0VVV VVVV

## NoteOn e NoteOff

- Codifica abbreviata: velocity poco significativa per il NoteOff
- NoteOff = “NoteOn con velocity = 0”
  - non si ripete il NoteOn
  - 91 47 50 91 47 0 = 91 47 50 47
- Si risparmia un 33% di traffico sulla rete

## Aftertouch (Polyphonic Key Pressure)

- Solo per device che rilevano cambi di pressione
- Simula strumenti con afflusso continuo di energia
- 2 data bytes
  - numero della nota 0NNN NNNN
  - valore di pressione 0VVV VVVV
- Riguarda una sola nota!

## Aftertouch (Channel Pressure)

- Solo per device che rilevano cambi di pressione
- Non si specifica il numero di nota: modifiche timbriche su tutto il canale
- 1 data byte: valore di pressione 0VVV VVVV
- Effetti diversi a seconda del device usato

## Pitch Bend

- sulla tastiera Pitch Wheel
  - variazione frequenziale intorno a quella del numero di tasto premuto
  - corrisponde agli effetti di vibrato
- 2 data byte: velocity e variazione



## Program Change

- per sintetizzatori multi-timbrici
- 1 data byte: Program Number 0PPP  
PPPP
- cambia il timbro (su un canale)
  - *patch*: termine che indica un timbro prodotto da un generatore
  - standard General MIDI

## Alcune patch General MIDI

0 Grand piano; 4 Rhodes piano; 6 Harpsichord; 11 Vibraphone; 12 Marimba; 13 Xylophone; 21 Accordion; 22 Harmonica; 23 Tango accordion; 24 Acoustic guitar (nylon); 25 Acoustic guitar (steel); 26 Electric guitar (jazz); 32 Acoustic bass; 33 Electric bass (finger); 40 Violin; 41 Viola; 42 Cello; 46 Orchestral harp; 47 Timpani; 48 String ensemble 1;

56 Trumpet; 57 Trombone; 71 Clarinet; 73 Flute; 79 Ocarina; 80 Square Lead; 81 Sawtooth Lead; 94 Halo Pad; 104 Sitar; 105 Banjo; 118 Synth drum; 119 Reverse cymbal; 120 Guitar fret noise; 121 Breath noise; 122 Sea shore; 123 Bird tweet; 124 Telephone ring; 125 Helicopter; 126 Applause; 127 Gunshot

## Richieste per GM per device MIDI

- 24 voci di polifonia
- 16 canali polifonici e politimbrici
  - riproduzione contemporanea di 16 timbri
  - il 10 riservato alla batteria
- accordatura su  $La_3$  (440 Hz), nota 69
- Inizializzazione generatore multitimbrico (bend = 0, volume = 90)
- ...

## Altri standard

- Limitazione di GM: max 128 strumenti e controller
- Roland GS (General Standard)
  - messaggio Bank Select (aumenta i preset)
  - controllo di effetti audio e parametri del suono
- Yamaha XG
  - strumenti, effetti, drum kit estesi
  - scalabilità: approssimazione di messaggi non interpretati correttamente

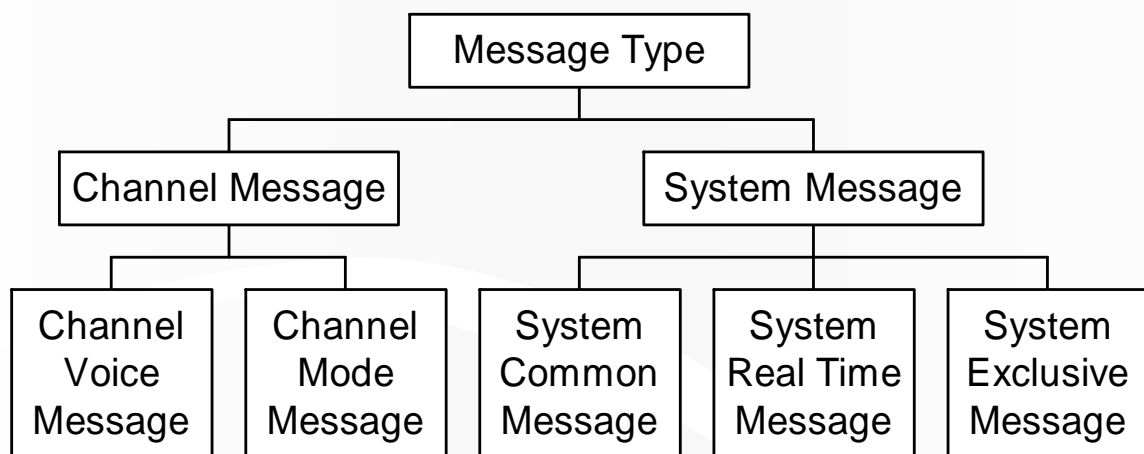
## Channel Voice Message: I controllori

- Alzano il rango del MIDI oltre le possibilità di una pianola elettronica
  - molti controlli per l'espressività
  - dai pedali (smorzamento e sostegno) del pianoforte al controllo del soffio
- 2 byte di codifica
  - identificatore del controllore: 0NNN NNNN
  - valore del controllore: 0VVV VVVV

## Due categorie di controllori

- Controller continui: funzione di controllo
  - controller 7: volume generale dello strumento
  - controller 10: panning stereofonico di un suono
- Controller a switch (valore ON/OFF)
  - 64 (DAMPER PEDAL): pedale sostegno (ON/OFF)
  - 123 (ALL NOTES OFF): spegne tutti i NoteOn attivi

# Channel Mode Messages



- *descrivono il modo in cui un generatore di suoni interpreta i comandi NoteOn/NoteOff che riceve*
- *monofonia/polifonia, singolo canale/tutti i canali*

# Motivazioni

- Un expander può generare più suoni in contemporanea (*voci*)
- Eventualmente con più timbri
- numero di voci possibili = *grado di polifonia*
- voci di strumenti diversi = *grado di politimbrica*



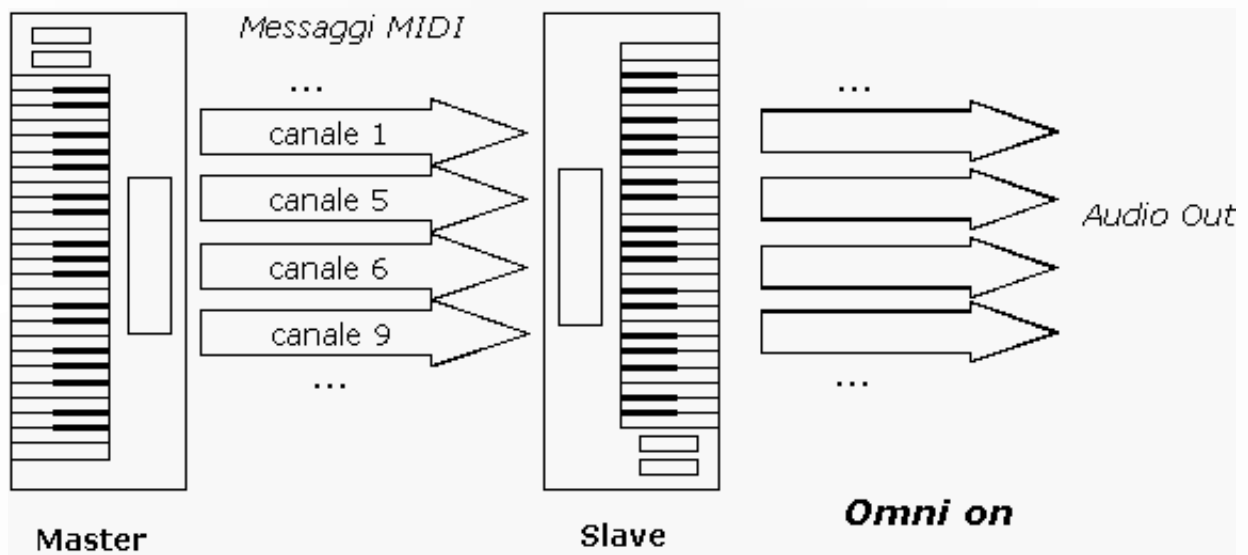
## I modi

- criteri con cui un device decide di accettare un messaggio
- modalità con cui trattare il messaggio

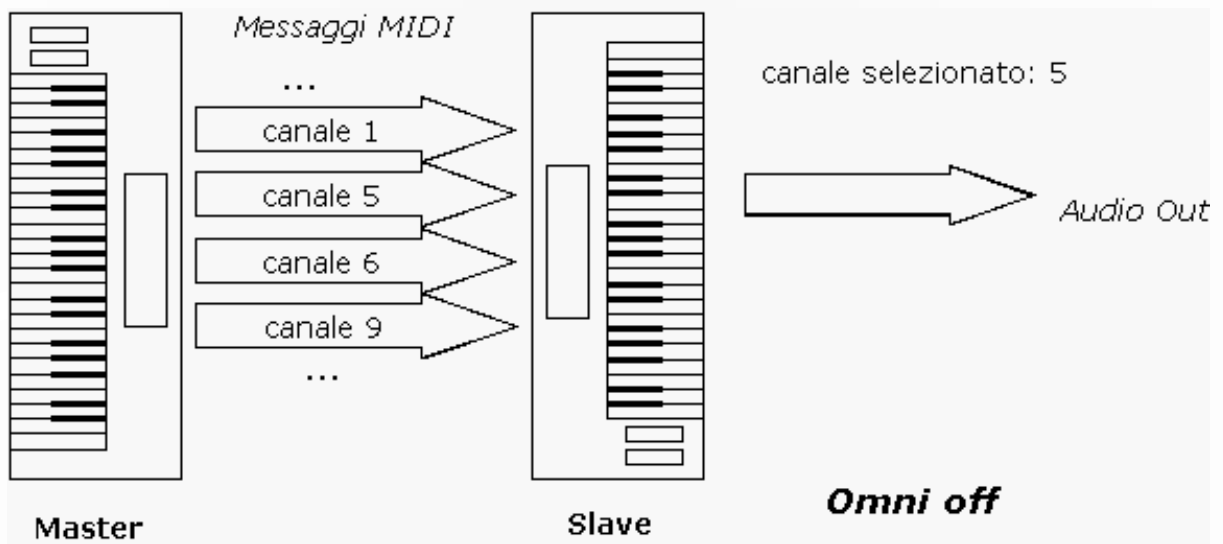
## OMNI ON/OFF

- OFF: il device risponde ai messaggi appartenenti a un singolo canale
- ON: il device risponde ai messaggi appartenenti a tutti i canali

# Omni On



# Omni Off



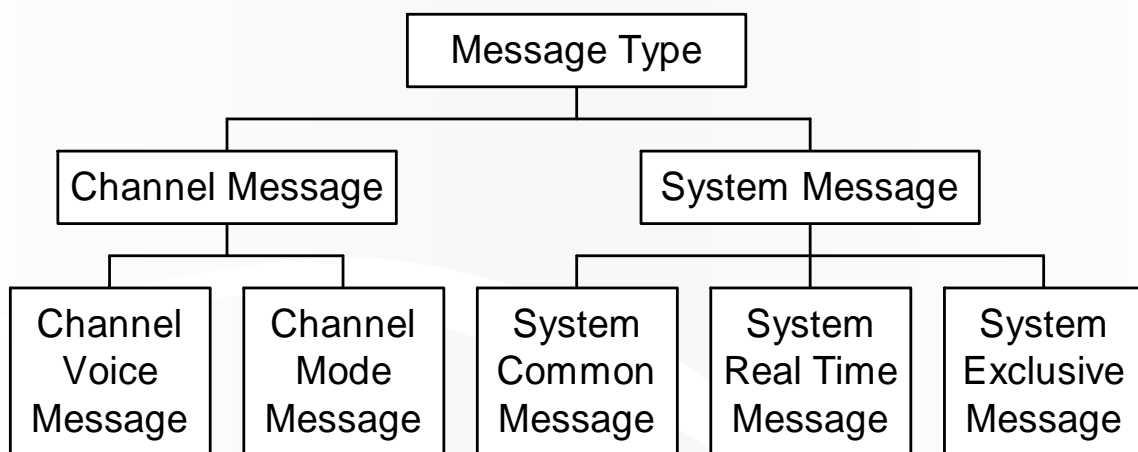
# POLY/MONO

- il device risponde monofonicamente o polifonicamente ai singoli canali MIDI
- MONO: suona una nota singola
- POLY: suona più note (accordi)

## Combinazioni di modi

- 4 combinazioni possibili
  - “Omni” = OMNI ON + POLY
  - OMNI ON + MONO
  - “Poly” = OMNI OFF + POLY
  - “Multi” = OMNI OFF + MONO
- Predisposizione del device sulla consolle, ma anche in modo *dinamico*

# System Messages



- *si riferiscono a tutti i device*
- *non includono quindi un numero di canale*
- *sono utili per la sincronizzazione di più device*

## Messaggi di sistema

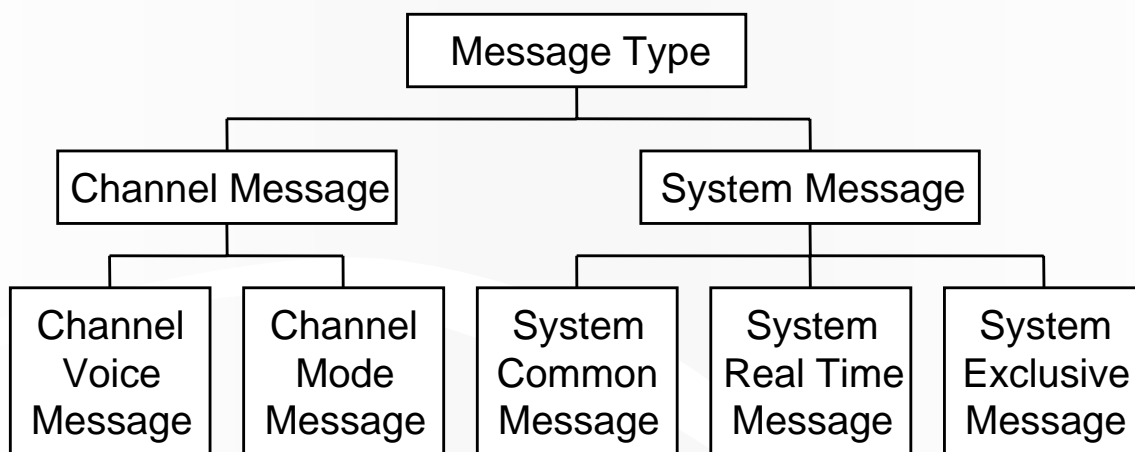
- Si hanno più device con sequencer interno (memorizzano sequenze di dati MIDI)
- MIDI song memorizzata a pezzi su più device
- Si definiscono master & slave device



## Esempio

- Più device: pad + tastiera
- MIDI song memorizzata a parti
  - batteria memorizza la parte di batteria della song
  - tastiera memorizza la parte armonica e melodica
- Si definiscono master & slave device
  - es. master batteria; slave tastiera
  - START sulla batteria, anche tastiera parte

# System Common Messages



- *comuni messaggi di sistema*

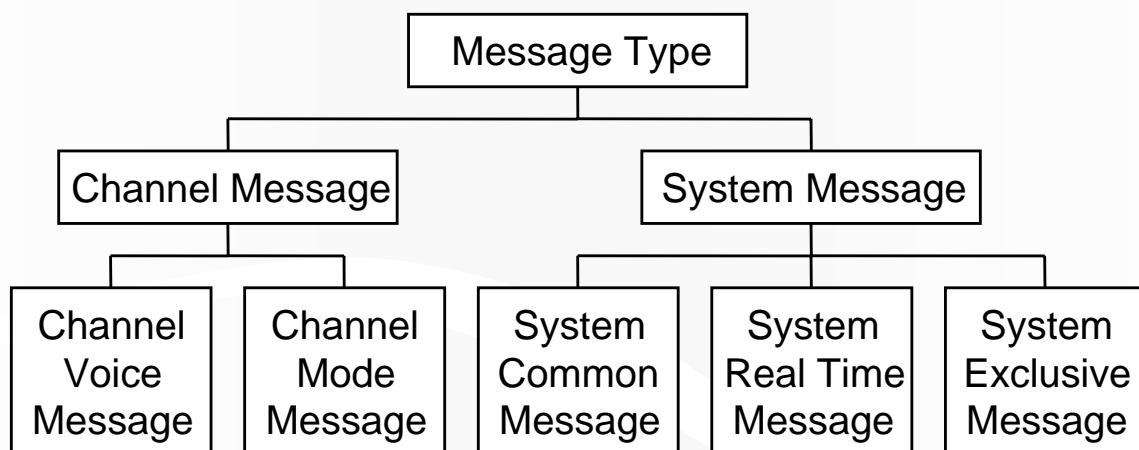
## Song Position Pointer

- status byte: 1111 0001
- 2 data byte: 0LLL LLLL 0MMM MMMM
- 14 bit per indicare i beats dall'inizio della song
- Si trasmette quando la song parte e quando si ferma (gli slave si posizionano al punto specificato)

## Song Select

- status: 1111 0011
- data: 0SSS SSSS
- seleziona una di 128 song possibili che un device può avere memorizzate
- il messaggio cambia la song corrente

# System Real Time Messages

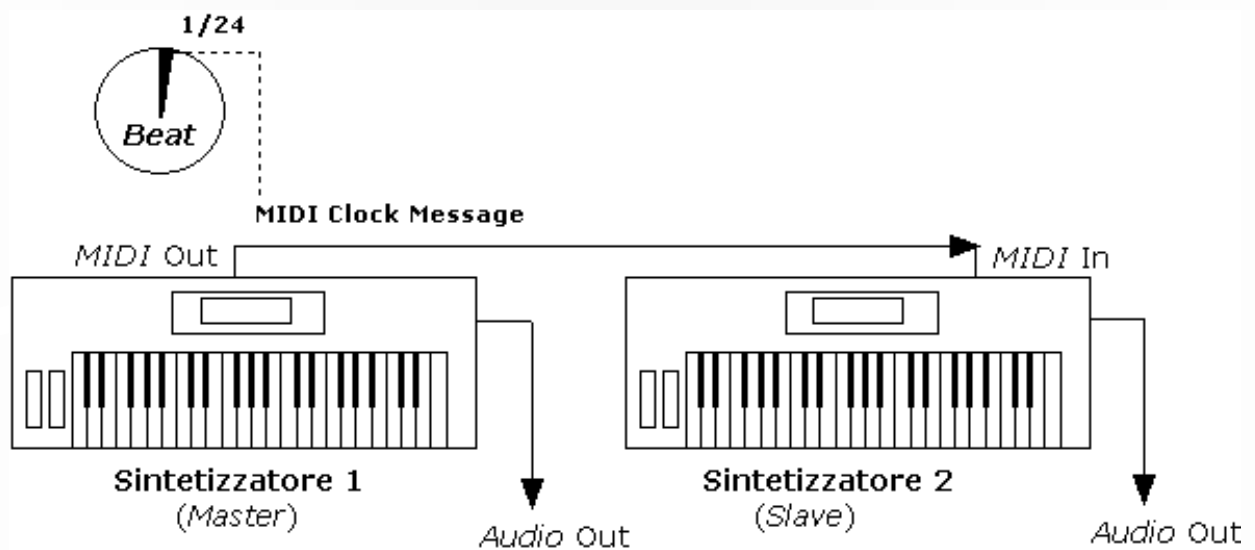


- *messaggi di sincronizzazione tra i device*

## Sincronismo tra i moduli - metronomo -

- **Timing Clock:** sincronizza l'intero sistema
  - viene generato dal master 24 volte per beat
  - controlla l'avanzamento degli slave
- **Start/Continue/Stop** dal master
- **Active Sensing**
  - serve a comunicare la presenza del device
- **System Reset**

# MIDI clock message



# MIDI Timecode Quarter Frame

- Sincronizzazione di info MIDI e altre risorse
- Fondamentale in ambiente multimediale
- Il timecode (SMPTE) hh:mm:ss:fff
  - si usa in televisione e video produzione
  - in TV i frame sono 25 o 30 in un secondo
  - è un codice speciale inviato (o registrato) insieme con i segnali video e audio



# MTC Message

- Sequenza di messaggi real time per codificare una locazione completa in timecode
- 8 messaggi di 2 byte
  - status byte: 1111 0001
  - data bytes (in realtà solo 4 bit di dati per msg):
    - 0000 nnnn LS frames            0100 nnnn LS minutes
    - 0001 nnnn MS frames           0101 nnnn MS minutes
    - 0010 nnnn LS seconds          0110 nnnn LS hours
    - 0011 nnnn MS seconds          0111 nnnn MS hours

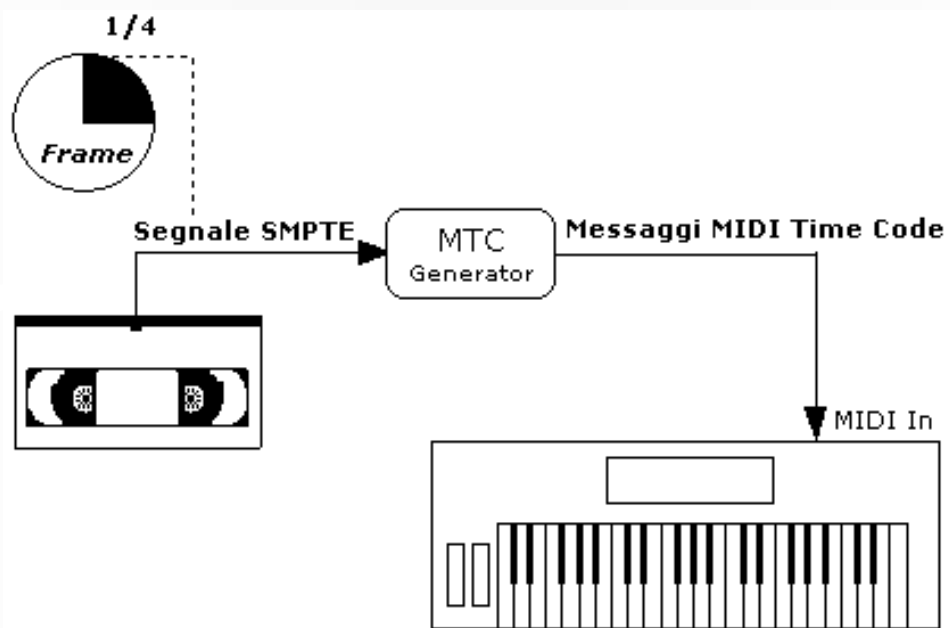
## hh:mm:ss:ff

- Hh - 8 bit 00000001 – 4 + 4 0000 0001
- Mm – 8 bit 00000011 – 0000 0011
- Ss – 8 bit 00010000 – 0001 0000
- Ff – 8 bit 00010100 – 0001 0100
  
- 1111 0001 0111 0000
- 1111 0001 0110 0001
- ...

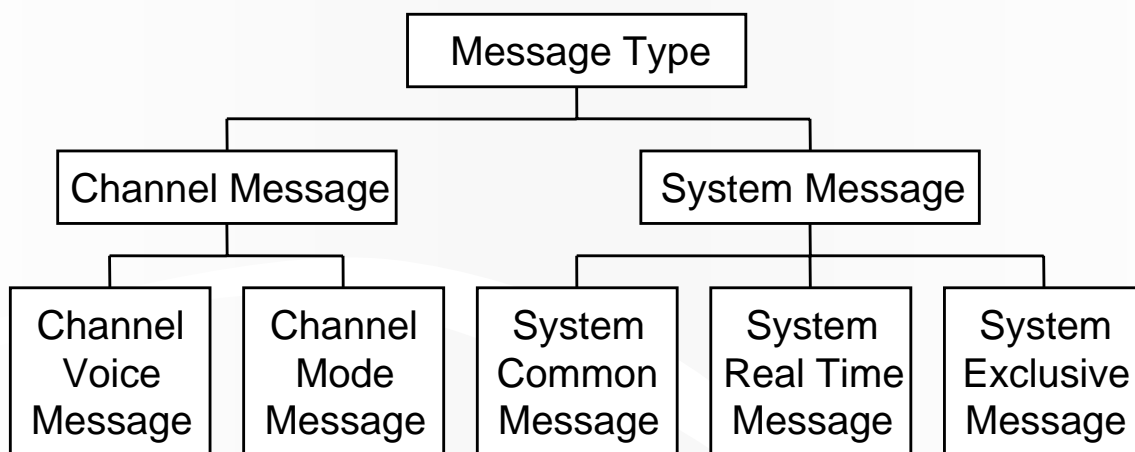
## Non sono necessari 8 bit per le ore

- Due bit codificano il timecode in uso
- 4 valori per rappresentare i media da sincronizzare
  - 24 frame/sec per il cinema
  - 25 frame/sec per la TV PAL
  - 30 frame drop-frame/sec per TV NTSC

## La sincronizzazione con il video



# System Exclusive Messages



- *messaggi esclusivi per device speciali*

## Messaggi esclusivi dei costruttori

- Espedienti per comunicare qualsiasi cosa
- Di solito rivolti ai device di qualche particolare costruttore
- Struttura
  - Status byte: 1111 0000
  - ID byte: 0DDD DDDD
  - data bytes: quanti ne occorrono
  - EOX byte: 1111 0111



# Standard MIDI File

## (SMF)

# Standard MIDI File (SMF)

- Nasce nel 1988
- Formato per memorizzare sequenze MIDI
- Riconosciuto da tutti i programmi musicali
  - sequencer
  - programmi per la stampa di partiture
- Contiene informazioni necessarie per l'esecuzione



## Motivazioni

- Assente nel protocollo MIDI il concetto di tempo
- La gestione del tempo è affidata all'esecutore o al sequencer
- Essi generano i messaggi in ben precisi istanti

# Esempio



Assunzione:  
una semiminima vale 1 sec  
(cioè 100 centesimi)

L'informazione "tempo" non  
è del protocollo MIDI  
Informazione aggiuntiva dell'  
intervallo tra un messaggio e  
il successivo: il MIDI file

Messaggio	Bytes	Tempo
NoteOn0	90 4A 30	0
NoteOn1	91 40 30	0
NoteOff1	91 40 00	50
NoteOff0	90 4A 00	75
NoteOn1	91 41 30	100
NoteOff1	91 41 00	150
NoteOn0	90 48 30	150
NoteOff0	90 48 00	175
NoteOn0	90 47 30	200
NoteOn1	91 43 30	200
NoteOff1	91 43 00	225
NoteOff0	90 47 00	250
NoteOn1	91 41 30	250
NoteOff1	91 41 00	275
NoteOn0	90 47 30	300
NoteOn1	91 43 30	
...		

## Lo Standard MIDI File (SMF)

- Formato di memorizzazione e di scambio di brani musicali
- Secondo accordo per l'informazione musicale digitalizzata
- Sequenza di messaggi MIDI intercalati da informazioni sul ritardo di emissione

## Struttura di un MIDI file

- Organizzazione in *chunk*
  - due campi iniziali di 4 byte
    - ID = tipo di chunk
    - dimensioni del chunk
  - data byte
- Due tipi di chunk
  - *header chunk* (2 + 6 – formato, # tracce, PPQ, specifiche MTC)
  - *track chunk* (tutte le info di un canale:  $\delta$ -time e relativo messaggio)

## Tre tipi di SMF: Tipo 0 (una sola traccia)

- General Header: identificazione del file, divisione, tempo metronomico, tempo musicale, chiave, ...
- Intestazione di Traccia: dati relativi alla traccia
- Traccia: messaggi MIDI separati da informazioni di temporizzazione

## Tre tipi di SMF: Tipo 1 (più tracce; tempo solo sulla prima)

- Intestazione generale (General Header) ...
- Intestazione di Traccia1
- Traccia 1
- Intestazione di traccia 2
- Traccia 2
- ...
- Intestazione di traccia 13
- Traccia 13
- ... fino a 256 tracce

## Tre tipi di SMF: Tipo 2 (più tracce; tempo su tutte)

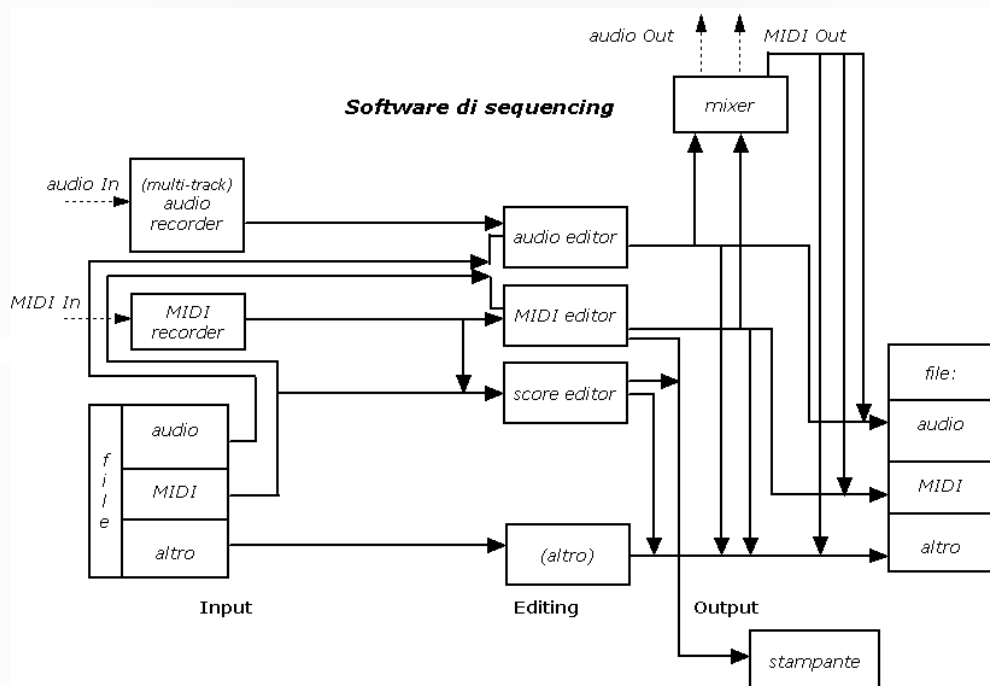
- Intestazione generale (General Header) ...
- Intestazione di Traccia1
- Traccia 1
- Intestazione di traccia 2
- Traccia 2
- ...
- Intestazione di traccia 13
- Traccia 13
- ... fino a 256 tracce



# Il Sequencer



# Il sequencer



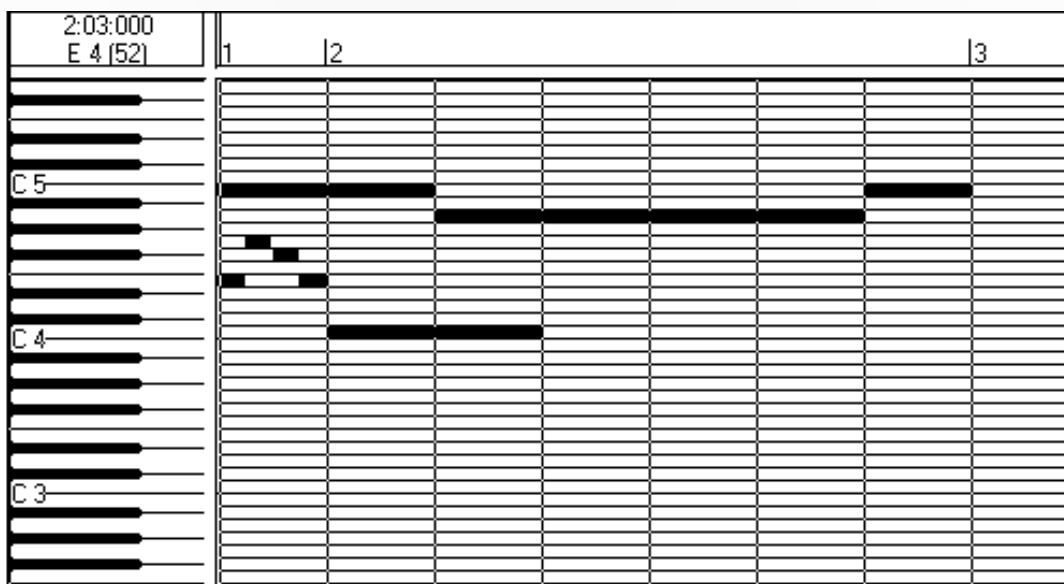
# Interfaccia: Mixer

		Name		Source	Key+	Vel+	Time+	Port	Chn	Bank	Patch	Vol	Pan	
1	M	Flauto	S	R	MIDI	0	0	0	1-SB A	1	Flute	100	...	Flauto
2	M	Oboe	S	R		0	0	0	1-SB A	2	Oboe	90	...	Oboe
3	M	Fagotto	S	R		0	0	0	1-SB A	3	Bassoon	127	...	Fagotto
4	M		S	R	n/a	0	n/a	n/a	AWE6	...	...	...	127	

## Interfaccia: Event List

Trk	HMSF	MBT	Ch	Kind	Data		
1	00:00:00:18	2:01:000	1	Note	E 6	100	2:000
1	00:00:01:24	2:03:000	1	Note	C 6	100	1:000
1	00:00:02:12	2:04:000	1	Note	C 6	100	2:000
1	00:00:03:18	2:06:000	1	Note	B 5	100	1:000

# Interfaccia: Piano Roll



## Vantaggi del MIDI

- Non è necessario memorizzare i segnali sonori, soltanto i dati MIDI (molto più ridotti)
- Il musicista può cambiare alcuni aspetti dell'esecuzione dopo la registrazione
- La registrazione non ha distorsione, fruscio, ..., nonostante tutte le possibili manipolazioni

## Audio digitale VS MIDI

- I dati MIDI NON SONO campioni!
- Sia i registratori digitali che i sequencer MIDI
  - sono sistemi digitali
  - operano su tracce multiple
- Differiscono nel tipo e nella quantità di informazione gestita

# Confronto

un musicista suona 4 semiminime  
a un tempo di 60 beat/min (4 sec)

## Confronto (1)

- 4 semiminime, 60 beat/min (4 sec)
- Sintetizzatore MIDI
  - 16 porzioni di informazione
  - 4 inizi, 4 fini, 4 altezze, 4 ampiezze
  - 3 byte per info, 48 byte



## Confronto (2)

- 4 semiminime, 60 beat/min (4 sec)
- Registratore digitale con microfono (stereo)
  - sr = 44,1 KHz
  - $44100 \times 2 \text{ canali} \times 4 \text{ secondi} = 352.800$  camp.
  - campioni a 16 bit: 705.600 byte

## Risultati del confronto

4 semiminime, 60 beat/min (4 sec)

48 byte per il MIDI

705 K per l'audio digitale qualità CD

## Vantaggio del MIDI: il basso costo

- Sequencer multitraccia MIDI a 48 tracce
  - costa poche decine di dollari
  - gestisce 4000 byte/sec
- Registratore multitraccia digitale a 48 tracce
  - costa (decine di) migliaia di dollari
  - gestisce 4,6 Mb/sec
- Rapporto 1 / 1000 sia per costo che per capacità

## Vantaggio della registrazione digitale

- Può registrare qualsiasi suono che un microfono può catturare (inclusa la voce)
- Descrive il segnale in tutte le sue sfumature (modulazioni, forma d'onda, ...), mentre il MIDI è limitato a poche info di controllo
- Portabilità della registrazione: cambiando il sintetizzatore, il suono di una registrazione MIDI può cambiare totalmente

## Limiti del MIDI

- Baud rate 31250 bit/sec, in 1 sec 500 note: pezzi complessi con molti strumenti richiedono velocità più elevate
- Numero limitato di canali, no indirizzamento dei device, difficoltà a configurare grandi reti MIDI
- Dipendenza dai dati MIDI: arbitrarietà delle patch (ora General MIDI)
- Uso molto vario, non inteso inizialmente

## Conclusioni

- Rivoluzione nel modo di fare musica
- Yamaha DX-7: prima tastiera con standard MIDI (legami con la sintesi)
- turnisti delle sale di registrazione in via di estinzione: il MIDI-fonico
- settori di musica di consumo (spot, disco music, musica d'ambiente, sfilate, ...)
- partiture eseguite in breve tempo e recupero culturale

## Il futuro del MIDI: XMidi

- Compatibilità con il MIDI (cavi, messaggi, ...)
- Innovazioni
  - 324 canali VS 16
  - 528 valori lineari (per volume, velocity, ...) VS 128
  - 4374 valori non lineari (program change, ...) VS 128
  - 2611 istruzioni VS 23
  - bidirezionalità e modalità ad alta velocità
- Attuale perplessità delle case costruttrici