

## MIDI - Musical Instrument Digital Interface

Audio & Musica: Dati & Processi  
 Cronologia  
 L'interfaccia MIDI  
 Il protocollo MIDI  
 Il sequencer

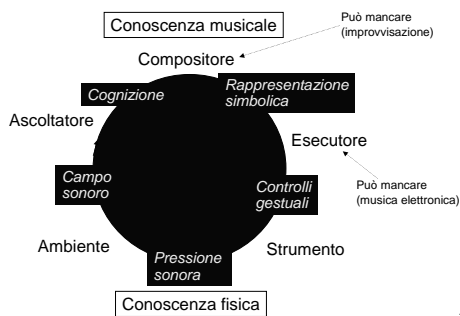
1

## Audio e musica

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

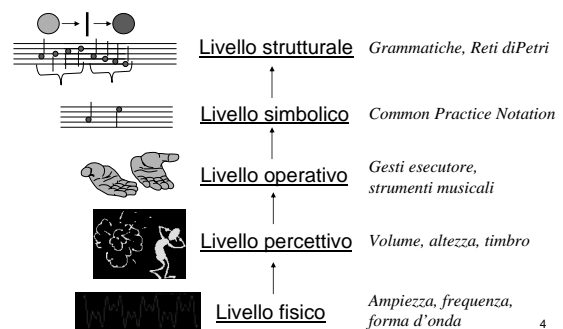
2

## Relazione tra i livelli della rappresentazione musicale (Moore – 1990)



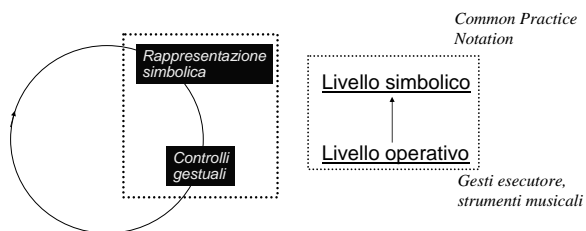
3

## Livelli di rappresentazione



4

## Dove si posiziona il MIDI



5

## La rappresentazione della musica

- Quali simboli deve includere la rappresentazione
  - musica elettronica
- Fino a punto la rappresentazione specifica la performance: *operativa VS simbolica*
  - partiture di Grisey, di Webern, ...

6

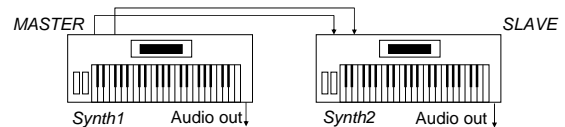
## Che cos'è il MIDI

- Protocollo standard usato per il controllo di sistemi musicali digitali
- Rappresenta una "performance" musicale a livello simbolico
- Informazione codificata in messaggi MIDI
  - istruzioni per un sintetizzatore
  - il sintetizzatore genera i suoni effettivi sulla base dei dati MIDI
- Il sequencer
  - registra una performance umana su una tastiera in termini di informazioni di controllo
  - ricrea la performance inviando i dati lungo il cavo MIDI alla tastiera o alla scheda audio

7

## Come nasce il MIDI

- Limitazioni dei primi sintetizzatori (monofonici e con pochi timbri)
- Integrazione di più sintetizzatori per produrre suoni più ricchi
- Problema della comunicazione
  - altezza e ampiezza di una nota
  - sincronizzazione



8

## Cronologia

- Inizio anni '80: necessità di uno standard per la comunicazione tra i sintetizzatori di marche diverse
- problemi di cavi, differenze di volt, ...
- AES - primo tentativo: protocollo USI (Universal Synthesizer Interface), 1981
- modifiche e integrazioni con la partecipazione dei maggiori produttori di strumenti elettronici
- 1983: MIDI 1.0
- 1991: General MIDI, per fornire al mercato di massa un approccio predefinito alla configurazione MIDI
- 1999: General MIDI Level 2
- 1999: Downloadable Sounds (DLS), per standardizzare il formato dei timbri scaricabili da rete
  - Si utilizza il formato RIFF
  - Per il mercato dei videogiochi

9

## Due concetti del MIDI

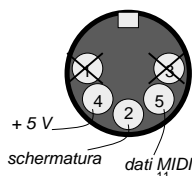
- Interfaccia MIDI: hardware necessario per la comunicazione tra strumenti
- Protocollo di comunicazione MIDI: insieme di regole per interpretare univocamente tutti i messaggi

10

## Interfaccia MIDI

1/2

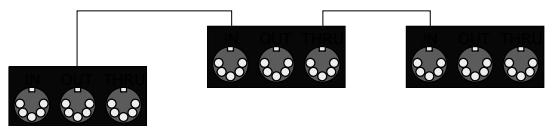
- Interfaccia seriale asincrona
  - Dati come sequenza di bit
    - Occorrono convertitori parallelo/ seriale (ACIA o UART)
  - L'invio dei dati dipende dal momento in cui un dispositivo inizia a trasmettere
- Velocità: 31.250 bit/sec
  - Un byte (10 bit = 8 + bit di start + bit di stop) → 320 μsec
- Connettori di tipo DIN a 5 pin
  - L'avvolgimento è proprio del MIDI → non si possono usare cavi DIN standard
  - Lunghezza massima: 6.6 m (oltre intervengono problemi di dispersione)



## Interfaccia MIDI

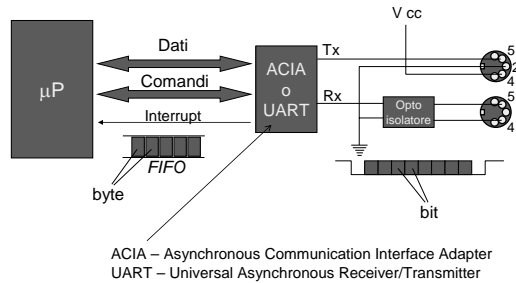
2/2

- Porte fisiche (connettori)
  - MIDI In: riceve segnali dall'esterno
  - MIDI Out: trasmette dati MIDI all'esterno
  - MIDI Thru: trasmette all'esterno la copia esatta dei dati ricevuti al MIDI In
- Patch bay → consente di effettuare un routing, scegliendo tra più configurazioni ingresso/uscita
  - Permette di assegnare un solo ingresso a più uscite e più uscite ad un ingresso (merging)



12

## Schema riassuntivo



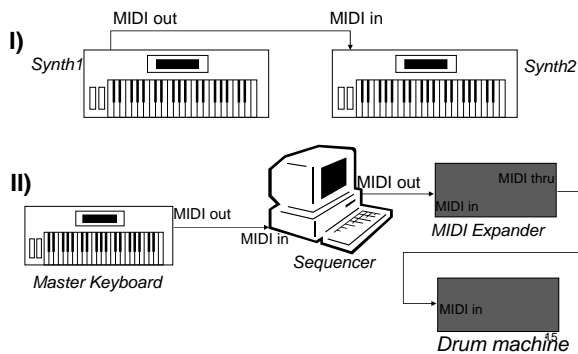
13

## Sistema MIDI

- *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, MIDI-guitar, drum-pads, ...)

14

## Schema di connessione MIDI



## Il protocollo MIDI

- Comunicazione attraverso messaggi
- I messaggi non rappresentano una forma d'onda
- Solo informazioni di controllo: *NoteOn*, *Noteoff*, etc.
- Canali
  - "Strade per la comunicazione"
  - Ad ogni canale può essere associato un particolare timbro
  - Indirizzano i messaggi agli expander
  - Il MIDI ha 16 canali per la comunicazione
  - I device possono rispondere a 1 o più canali
  - Due esempi d'utilizzo di tutti i 16 i canali
  - Manuel De Falla, Quintetto (El Amor Brujo: Danza ritual del fuego): 3 diverse assegnazioni di timbri ai canali
- Tracce
  - Flusso autonomo di dati MIDI
  - Esempio: in un brano per 2 pianoforti, ogni traccia è uno strumento, pur mantenendo lo stesso timbro
  - Può essere associata ad un canale, per poter modificare un timbro
  - Riorchestrare, modificando il timbro associato ad un canale

16

## Patch

- I messaggi MIDI possono indirizzare sino a 128 timbri (patch) diversi
- Si possono utilizzare diversi bank di 128 patch l'uno
- 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

17

## Temporizzazione

- I messaggi MIDI includono l'informazione temporale (timestamp)
- Ogni dispositivo MIDI è dotato di un clock con unità di misura (timebase) particolare:
  - *PPQ* (parti per quarto) o *ticks*
  - Relativa: dipende dalla durata di un quarto
  - Il numero di quarti (semiminime) al minuto è indicato con BPM (beats per minute): tra 40 e 240
- Valori tipici: 24, 96, 480 (tutti multipli di 24), sino a 4096

18

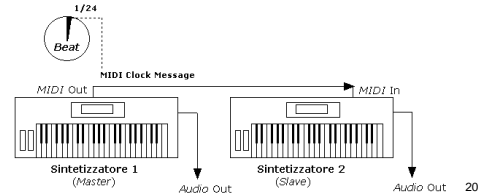
## Esempio

- 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

19

## Sincronizzazione MIDI

- MIDI Clock:
  - Il device master "tiene il tempo" con il suo clock (internal sync): produce un clock message ogni 24 PPQ
  - Devices slave con external sync: usano il clock message che arriva dal master



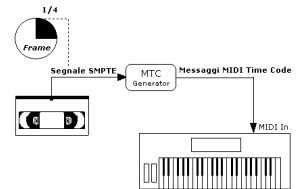
20

## MIDI Timecode Quarter Frame

- MIDI Time Code
  - Per coordinare dispositivi MIDI con produzioni audio/video
  - Traduzione in tempo assoluto
  - Fondamentale in ambiente multimediale
- Il timecode (SMPTE) hh:mm:ss:ff
  - Si usa in televisione e video produzione
  - Due bit codificano il timecode in uso:
    - 24 frame/sec per il cinema
    - 25 frame/sec per la TV PAL
    - 30 frame/sec per TV NTSC
  - è un codice speciale inviato (o registrato) insieme con i segnali video e audio

21

## 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

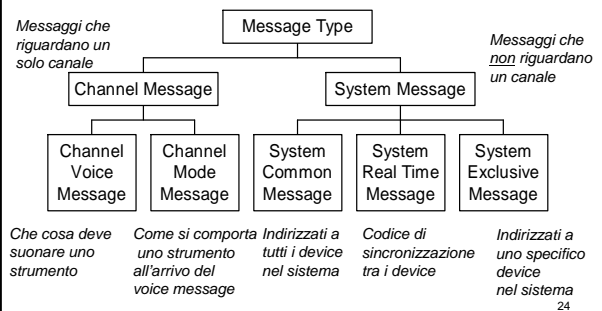
22

## Struttura generale di un messaggio MIDI

- Parole di 10 bit (8 + start + stop)
  - Status Byte – primo bit =1, identifica:
    - il tipo di messaggio (di canale o di sistema)
    - il canale interessato (nei channel message)
    - Il messaggio di sistema
      - ne esistono solo 11, quindi bastano i 4 bit meno significativi dello Status Byte
  - 1 o 2 Data byte: il messaggio

23

## La tassonomia dei messaggi



24

## Channel Message: Status byte

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

Sempre 1 negli status byte

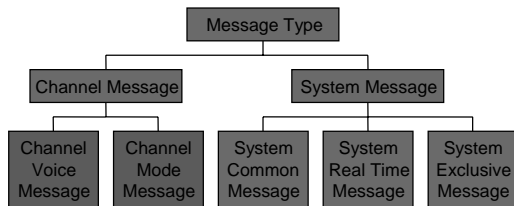
MSB	6	5	4	3	2	1	0	Message type
1	0	0	0	Uno dei sedici canali: 4 bit (0..15)			0	Note off
1	0	0	1				0	Note on
1	0	1	0				0	Aftertouch

26

## 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)*

27

## Note On

- Si invia 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

28

## 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
60	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

29

## Codifica abbreviata

- Poiché La velocity è poco significativa per il NoteOff →
- NoteOff = "NoteOn con velocity = 0"
  - non si ripete lo status byte del NoteOn:
    - 144 47 50 144 47 0 → 144 47 50 47
    - 144 = 1001 - 0000 (NoteOn - Canale 1)
- Si risparmia una media di 33% di traffico sulla rete

30

## Aftertouch (Polyphonic Key Pressure)

- Solo per device che rilevano cambi di pressione
- Simula strumenti con afflusso continuo di energia
- Status Byte → 1010nnnn
- 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
- Status Byte: 1101nnnn
- 1 data byte: valore di pressione 0VVV VVVV
- Effetti diversi a seconda del device usato

31

## Pitch Bend

- Sulla tastiera: Pitch Wheel
  - variazione frequenziale intorno alla frequenza del tasto premuto
  - corrisponde al vibrato
- Status Byte: 1110nnnn
- 2 data byte: velocity e variazione

## Program Change

- Per sintetizzatori multi-timbrici
- Status byte: 1110nnnn
- 1 data byte: Program Number 0PPP PPPP
- Si seleziona il timbro associato al canale nnnn
- In una unità di effetti può indicare un particolare effetto (ad esempio, un *chorus*) da attivare solo canale nnnn

32

## Control Change

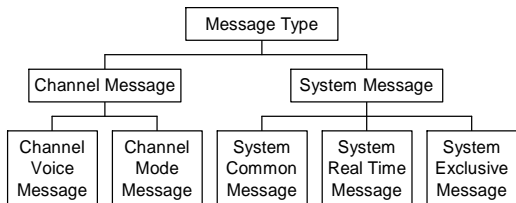
- Controller: pedale, ruota, leva, bocchino
- Status Byte: 1011nnnn
- 2 data byte:
  - Il primo specifica il controller
  - Il secondo il valore che deve assumere
- Controller continui: funzione di controllo
  - controller 7: volume generale dello strumento
  - controller 10: panning stereofonico di un suono
- Controller a switch (valore ON/OFF)
  - 64 (DAMPER PEDAL): pedale sostegno (ON/OFF)
  - 123 (ALL NOTES OFF): spegne tutti i NoteOn attivi

## Program Change

- Per sintetizzatori multi-timbrici
- Status byte: 1110nnnn
- 1 data byte: Program Number 0PPP PPPP
- Si seleziona il timbro associato al canale nnnn
- In una unità di effetti può indicare un particolare effetto (ad esempio, un *chorus*) da attivare solo canale nnnn

33

## 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

34

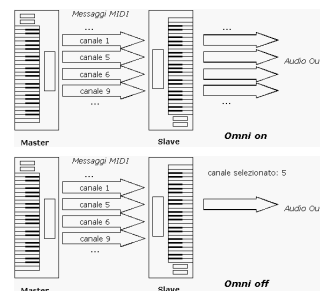
## I modi

- Configurazioni sulla base delle quali i dispositivi MIDI interpretano le informazioni relative ai canali
- “Modalità” con cui trattare il messaggio
- Un expander può generare più suoni in contemporanea (*voc*) e con più timbri
- numero di voci possibili = *grado di polifonia*
- voci di strumenti diversi = *grado di politimbrica*

35

## OMNI ON/OFF

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



36

## POLY/MONO

- il device risponde monofonicamente o polifonicamente ai singoli canali MIDI
- MONO: suona una nota singola per canale
- POLY: suona più note per canale (numero limitato dalle limitazioni HW)

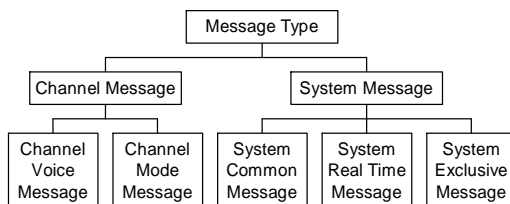
37

## Combinazioni di modi

- OMNI ON + POLY (usato in fase di test del sistema)
- OMNI ON + MONO (non usato)
- OMNI OFF + POLY (un canale con il massimo grado di polifonia permesso dall'HW)
- OMNI OFF + MONO
  - Modo "multi": pensato per gli strumenti multitimbrici
  - Ogni patch riceve i dati di un singolo canale (da cui il nome omni off)
  - In origine la risposta delle patch era monofonica (da cui mono), ora il modo "multi" è polifonico

38

## System Messages



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

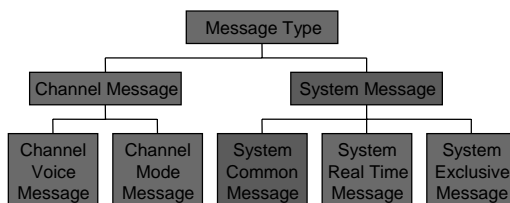
39

## Esempio di messaggi di sistema

- Status byte: 1111 xxxx
- Poiché sono diretti a tutti i sistemi su tutti i canali, il secondo nibble non specifica il canale, ma i diversi messaggi di sistema
- Esempio:
- Più device con sequencer interno (pad + tastiera) memorizzano sequenze di dati MIDI →
- MIDI song memorizzata a pezzi su due device
  - 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

40

## System Common Messages



- messaggi comuni a tutto il sistema

41

## Song Position Pointer

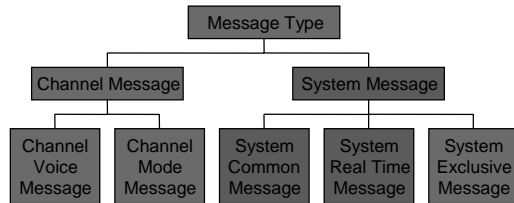
- status byte: 1111 0010
- 2 data byte: 0LLL LLLL      0MMM MMMM
- 14 bit per indicare i beats dall'inizio della song → 2<sup>14</sup> posizioni diverse
- Indica il punto interno alla Song dove posizionare il puntatore
  - Registrazione o riproduzione iniziano da qual punto

## 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

42

## System Real Time Messages



- *messaggi di sincronizzazione tra i device*

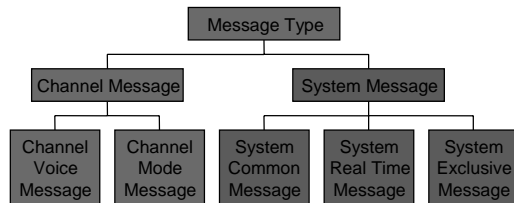
43

## Sincronismo tra i moduli

- Timing Clock: sincronizza l'intero sistema
  - Viene generato dal master 24 volte per beat
  - Controlla l'avanzamento degli slave
  - Status Byte: 11110000
  - Nessun Data Byte
- Start/Continue/Stop dal master
  - Start (11111010) tutti i dispositivi si alla locazione iniziale della song corrente
  - Stop (11111100) blocca l'operazione in corso (play o rec)
  - Continue (11111011) riprende l'operazione sospesa con stop
- Active Sensing
  - (11111111) mantiene attiva la connessione tra master e slave
  - Inviato ogni 300 ms
  - Se non viene ricevuto nessun byte (neppure l'Active Sensing) la comunicazione viene interrotta
- System Reset
  - Riporta tutti i dispositivi ai valori predefiniti

44

## System Exclusive Messages



- *messaggi esclusivi per device speciali*

45

## 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 (codice del costruttore)
  - data bytes: quanti ne occorrono
  - EOX byte: 1111 0111 (status byte finale)

46

## 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

47

## Standard MIDI File (SMF)

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

48



## Motivazioni

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

## 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

49

## 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	
...		

50

## Il tempo

- Ogni evento MIDI è preceduto da un numero (timestamp) che rappresenta l'intervallo di tempo ( $\delta$ -time) che separa un evento dal precedente. Può essere espresso in:
  - Tick: nel file viene anche specificata la durata (in  $\mu$ s) di un quarto
  - Secondo SMPTE: nel file viene anche specificato il numero di frame/secondo

51

## 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*: 14 byte – posto all'inizio del file
    - 2 + 6 – formato, # tracce, PPQ, specifiche MTC
  - *track chunk*
  - tutte le info di un canale:  $\delta$ -time e relativo messaggio

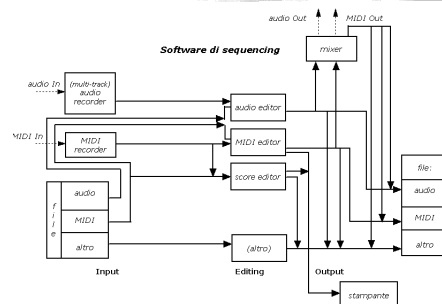
52

## Tre tipi di SMF:

- Tipo 0 - una sola traccia
  - General Header: identificazione del file, divisione, tempo metronomico, tempo musicale, chiave, ...
  - Grande compatibilità
- Tipo 1 - più tracce simultanee ( $\leq 256$ )
  - Il tempo solo sulla prima condiziona tutte le tracce
  - Intestazione generale (General Header) + intestazioni di traccia
- Tipo 2 - più tracce in cascata ( $\leq 256$ )
  - Scarsa compatibilità – utilizzato nelle drum machine
  - Il tempo su tutte le tracce
  - Intestazione generale (General Header) + intestazioni di traccia

53

## Il Sequencer



54

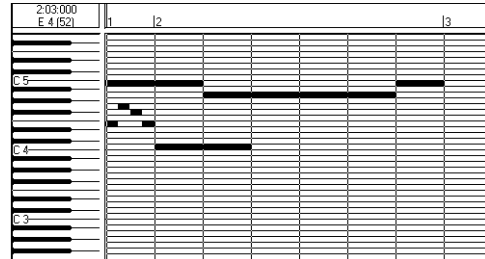
## Interfaccia: Mixer

	Name	Source	Key	Vel+	Time+	Port	Ch	Bank	Patch	Vol	Port
1	M Flauto	S R	MIDI	0	0	E	J 1-5B A	1	Flute	100	--
2	M Oboe	S R		0	0	E	J 1-5B A	2	Oboe	90	--
3	M Fagotto	S R		0	0	E	J 1-5B A	3	Bassoon	127	--
4	M	S R		n/a	0	n/a	*/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



56

## Confronto Audio vs. MIDI

- Un musicista suona 4 semiminime a un tempo di 60 beat/min (4 sec):
- Sintetizzatore MIDI
  - 16 porzioni di informazione:
  - 4 inizi, 4 fini, 4 altezze, 4 ampiezze
  - 3 byte per informazione = 48 byte
- Registratore digitale con microfono (stereo)
  - $F_c = 44.1 \text{ kHz}$
  - $44100 \times 2 \text{ canali} \times 4 \text{ secondi} = 352.800 \text{ camp.}$
  - campioni a 16 bit: 705.600 byte

57

## Vantaggio della registrazione MIDI

- 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 informazioni di controllo
- Portabilità della registrazione: cambiando il sintetizzatore, il suono di una registrazione MIDI può cambiare totalmente

58

## Vantaggi del MIDI

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

## 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, nessun indirizzamento dei device, difficoltà a configurare grandi reti MIDI
- Dipendenza dai dati MIDI: arbitrarietà delle patch (ora General MIDI)

59

## 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

60