

thetheremino
•the•real•modular•in-out•

Sistema thetheremino

DPM 3.0

Protocollo Dilbertiano Modificato

Protocollo di comunicazione seriale DPM (Dilbertian Protocol Modified)

Il nome del protocollo

Il nome "Dilbertiano" viene dalla prima versione di questo protocollo chiamata "IDP Inverted Dilbertian Protocol" nella quale gli zeri erano rappresentati con una cella stretta e gli uni con una cella larga ("0" magro e "1" grasso - come da vignetta seguente tratta da "Dilbert" di Scott Adams - www.dilbert.com)



Perché un nuovo protocollo ?

Il sistema Theremino si propone di fornire un sistema di Input-Output per PC semplice, poco costoso e facile da usare. Per renderlo facile da usare sono necessari l'auto-numerazione dei dispositivi e il riconoscimento del tipo di ognuno di essi, per semplificare e ridurre al minimo il costo dei collegamenti è necessaria la comunicazione su un filo solo.

Non esistendo un protocollo con queste caratteristiche abbiamo dovuto scriverlo, la versione attuale raccoglie il meglio di molti anni di sperimentazioni e ricerche.

Caratteristiche

- Comunicazione seriale bidirezionale su un solo filo
- Auto-configurazione
- Auto-riconoscimento dei dispositivi collegati
- Numero di dispositivi variabile da 1 a 200
- Numero di byte trasmessi e ricevuti variabile a seconda del tipo di dispositivo
- Velocità di trasmissione fino a 4 MegaBit/sec per trasmettere molti dati con cavi corti
- Velocità di trasmissione fino a 100 KiloBit/sec per cavi molto lunghi (fino a 10 Km)
- Alta efficienza di comunicazione (da 10 a 20 volte maggiore rispetto al CAN)

Aspetti elettrici

La trasmissione avviene su un solo filo ma è necessaria una massa di riferimento e una tensione di alimentazione per cui i fili sono normalmente tre.

Ogni dispositivo che supporta il protocollo DPM deve avere un connettore di ingresso verso il "Master" e uno di uscita verso i dispositivi a valle ("Slaves")

I connettori normalmente usati sono da tre pin, distanti 2.54 mm.

Sulla catena di comunicazione deve essere presente un "master" (che fornisce sincronismo e alimentazione) e un certo numero di dispositivi collegati in cascata (chiamati "slave")

La tensione che il "master" fornisce sulla linea è 5 volt, con la stessa tolleranza e con la stessa corrente massima dei 5v che si prelevano dal connettore USB.

La corrente massima che il "master" può fornire è un limite al numero e al tipo di dispositivi collegabili. Questa corrente che è normalmente di 250 mA, potrebbe essere aumentata fino a 500mA, andando oltre si supererebbe la capacità dell' USB e si imporrebbero caratteristiche inusuali ai connettori.

Il numero massimo di dispositivi collegabili è limitato dai fattori seguenti:

- La corrente massima che il "master" può fornire.
- Il numero massimo di byte che la linea sopporta nel tempo di ciclo.

Sia il "Master" che gli "Slave" sono collegati alla linea con un resistore di smorzamento che agisce anche come passa basso contro i disturbi radio e come protezione contro le sovratensioni. Il valore di questo resistore è normalmente da 33 a 330 ohm.

Formato di trasmissione

Si usa un formato Non-Return-to-Zero (NRZ) standard.

Formato di default = 8, N, 1

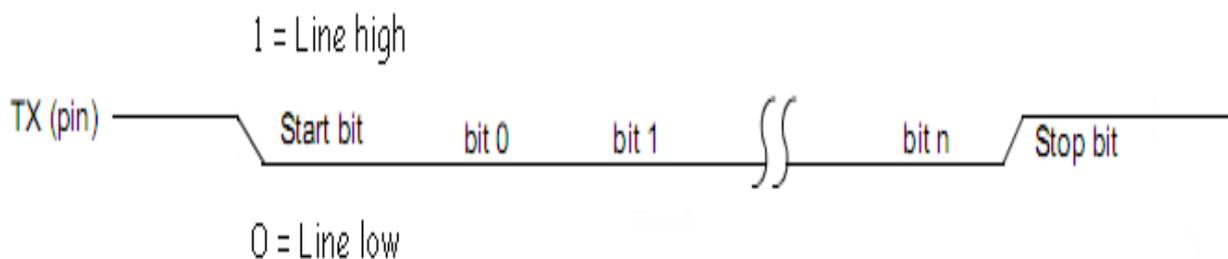
- un bit di start
- otto bit di dati
- nessuna parità
- un bit di stop

Livelli della linea dati "Com.Line"

La linea a riposo è a livello alto (3.3V)

Il segnale "1" è indicato con 3.3V

Il segnale "0" è indicato con 0V



Velocità di trasmissione

Velocità di trasmissione

Si usano velocità basse quando la lunghezza, e quindi la capacità dei cavi di collegamento, sono alte.

Quando invece le distanze sono brevi si possono usare velocità alte e comunicare con un gran numero di dispositivi (o comunicare con dispositivi che richiedono un gran numero di byte)

Sono stabilite le velocità denominate da "1" (1 k bit/s) fino a "12" (4 mega bit/s)

Numero massimo di byte

A seconda della velocità di trasmissione il numero massimo di byte che si possono trasmettere è elencato nella tabella seguente.

Tempi, distanze e numero di byte

Speed	Tempo di cella	bit/s	byte in 15 mS	byte in 30 mS	Massima distanza	Massima capacità	Max slaves
1	1 mS	1K	1	3	10 Km	1 uF	3
2	500 uS	2K	3	6	5 Km	500 nF	6
3	200 uS	5K	4	8	2 Km	200 nF	15
4	100 uS	10K	15	30	1 Km	100 nF	30
5	50 uS	20K	30	60	500 m	50 nF	60
6	20 uS	50K	40	80	200 m	20 nF	150
7	10 uS	100K	150	300	100 m	10 nF	160
8	5 uS	200K	300	600	50 m	5 nF	80
9	2 uS	500K	400	800	20 m	2 nF	32
10	1 uS	1M	1500	3000	10 m	1 nF	16
11	500 nS	2M	3000	6000	5 m	500 pF	8
12	250 nS	4M	6000	12000	2.5 m	250 pF	4

Tutti i dispositivi devono implementare per lo meno la velocità "7" che è considerata la velocità di default.

Se si desidera impostare una velocità diversa dalla "7" tutti i dispositivi della catena devono supportarla.

La "massima distanza" dipende dalle caratteristiche dei cavi, i valori della tabella sono calcolati per un cavo schermato RG58 da 50 ohm con capacità di 100pF per metro.

Alle velocità basse il numero di "slaves" è limitato dal numero massimo di byte che si possono trasmettere in 30 millisecondi. (ogni slave usa almeno un byte)

Alle velocità alte il numero di "slaves" è limitato dalla capacità massima, ogni "slave" aggiunge una capacità di circa 40..60 pF e riduce la massima distanza di circa 50 cm.

La capacità è stata calcolata sulla base di 30pF per ogni "slave" cui si aggiungono altri 20pF per un cavo di collegamento da 20 centimetri e altri 10pF per tenere conto della resistenza aggiuntiva provocata dal "bilateral switch" (totale: 60pF)

Massima lunghezza del cavo di comunicazione rispetto alla corrente di alimentazione e alla resistenza per metro

Tipo di cavo	H1500 / H1000 / H500 / H155 / RG11	RG58 / RG59U / H155 / cavi di rete	RG59 / RG6 / doppino telefonico / cavi di rete
Corrente massima (di picco)	20 milli ohm o meno per metro	intorno ai 50 milli ohm per metro	intorno ai 100 milli ohm per metro
10 mA	1 Km	400 m	200 m
20 mA	500 m	200 m	100 m
50 mA	200 m	80 m	40 m
80 mA	125 m	50 m	25 m
100 mA	100 m	40 m	20 m
200 mA	50 m	20 m	10 m
400 mA	25 m	10 m	5 m
500 mA	20 m	8 m	4 m
800 mA	12.5 m	5 m	2.5 m
1 A	10 m	4 m	2 m

Nel calcolo della distanza si tiene conto che la caduta di tensione sul polo di massa, non superi i 200mV.

La caduta di tensione sul filo di alimentazione, non provocando errori di trasmissione, può essere anche molto maggiore (i 5V che possono scendere fino a 3.3 volt senza creare problemi)

In caso di cavi schermati il polo di massa è lo schermo che normalmente ha una resistenza minore di quella dichiarata, pertanto la distanza sarà maggiore.

Capacità dei cavi di collegamento

I valori di "massima lunghezza" indicati nella tabella precedente sono validi solo per cavi di collegamento con capacità di circa 100pF per metro. La tabella seguente mostra le correzioni da applicare per i cavi di uso più comune.

Cavo	Diametro esterno (mm)	Impedenza (ohm)	Capacità (pF/mt.)	Resistenza (milliohm / metro)	Correzione massima lunghezza
H1500	15	50	80	4	x 1.25
H1000	10.3	50	80	11	x 1.25
RG213	10.3	50	100		-
H500	9.8	50	82	15	x 1.22
H155	5.8	50	82	32	x 1.22
RG8	10	52	90		-
RG11 (TV)	10.3	75	60	21	x 1.7
RG59 (TV)	6.15	75	67	159	x 1.5
RG6 (TVsat)	6.8	75	51	100	x 2.0
RG56/U (TV)	6.9	75	53		x 2.0
RG59/U (TV)	4.5	75	53	45	x 2.0
RG58	5.2	50	100	53	-
RG142	4.95	50	96		-
RG174	2.8	50	100		-
RG178	1.85	50	95		-
RG179	2.55	75	64		x 1.5
RG187	2.7	75	65		x 1.5
RG188	2.7	50	95		-
RG196	1.9	50	93		-
RG316	2.5	50	95		-
Cavo di rete			min 50 max 130	min 60 max 200	x 2.0 x 0.7
Cavi audio PC			min 120 max 300	min 500 max 3000	x 0.8 x 0.5
Cavo microfonico			min 60 max 300		x 1.7 x 0.3
Doppino telefonico			50	100	x 2.0

Esistono anche cavi a bassa capacità (poco usati e difficilmente reperibili):

- RG62 – 93 ohm – 44 pF/mt
- RG71 – 93 ohm – 44 pF/mt
- RG210 – 93 ohm – 44 pF/mt
- RG63 – 125 ohm – 33pF/mt
- RG114 – 185 ohm – 27pF/mt

Misurare la capacità di un cavo sconosciuto:

Preparare il cavo schermato spellandolo e mantenendo isolato il filo centrale.

Misurare tra centrale e schermatura esterna con un tester o capacimetro.

Per migliorare la precisione di misura, usare cinque o dieci metri di cavo.

Dividere il valore di PicoFarad misurato per il numero di metri di cavo.

Tipi di dispositivi

I dispositivi sono identificati con un numero da 0 a 199 che identifica il suo "Type". Nella fase di riconoscimento e numerazione ogni dispositivo si identifica con questo "Type"

Attualmente sono definiti i dispositivi seguenti:

Device Type	Speed min	Speed max	In out Pins	Power	Name
0					Tipo speciale "custom"
1	1	12	1	12mA	Capacitive Sensor Hi Quality
2	1	12	10		InOut Servo
3	1	12	12		InOut Generic
4	1	12	12		InOut
5			6		Virtual Master Pins (first version)
8			10		Virtual Master Pins - V2
9			12		Virtual Master Pins - V4
255					UNKNOWN

Numero massimo di dispositivi

Il numero massimo di dispositivi collegabili è limitato da:

- Il numero massimo di byte che possono essere trasmessi a seconda della velocità selezionata.
- La corrente massima che il "master" può fornire (normalmente 500 mA)
- Il massimo numero di dispositivi supportato dal protocollo che è 200 (da 0 a 199)

Tipi di Pin di uscita

I pin sono identificati con un numero da 0 a 255 che identifica il suo "PinType"

Tipo di pin di uscita	Nome	Bytes da Master a Slave	Bytes da Slave a Master
0	UNUSED	0	0
1	DIG_OUT	1	0
2	PWM_8	1	0
3	PWM_16	2	0
4	SERVO_8	1	0
5	SERVO_16	2	0
6	STEPPER	4	0
7	PWM_FAST	5	0

Tipi di Pin di ingresso

I pin sono identificati con un numero da 0 a 255 che identifica il suo "PinType"

Tipo di pin di ingresso	Nome	Bytes da Master a Slave	Bytes da Slave a Master
129	DIG_IN	0	1
130	DIG_IN_PU	0	1
131	ADC_8	0	1
132	ADC_16	0	2
133	CAP_8	0	1
134	CAP_16	0	2
135	RES_8	0	1
136	RES_16	0	2
140	COUNTER	0	2
141	COUNTER_PU	0	2
142	FAST_COUNTER	0	2
143	FAST_COUNTER_PU	0	2
144	PERIOD	0	4
145	PERIOD_PU	0	4
146	SLOW_PERIOD	0	4
147	SLOW_PERIOD_PU	0	4
150	USOUND_SENSOR	0	2
160	CAP_SENSOR	0	3
165	STEPPER_DIR	0	4
180	ENCODER_A	0	2
181	ENCODER_A_PU	0	2
182	ENCODER_B	0	0
183	ENCODER_B_PU	0	0
175	ADC_24	0	1
176	ADC_24_DIN	0	0
177	ADC_24_DOUT	0	0

Comunicazione Master - Slave (linea seriale)

Primo Byte	Tipo di trasmissione	Trasmissione	Ricezione
255 (*4)	Comando speciale esteso (per permettere future espansioni)	1 byte (estensione) >> da qui in poi si veda la tabella dei comandi estesi	
254 (*1)	RecogStart Inizio di riconoscimento e numerazione	1 byte (numero byte dati = 0) 1 byte (CRC - Cmd / 0)	
253 (*2)	Recog Invio numero progressivo e richiesta del tipo	1 byte (numero byte dati = 1) 1 byte (da 0 a 199) 1 byte (CRC - Cmd / Nbytes / Type)	1 byte (tipo) 1 byte (CRC)
251 (*3)	FastDataExchange Scambio di dati veloce.	1 byte (numero byte dati = 0) 1 byte (CRC - Cmd / 0) da 0 a 60 byte di dati	da 0 a 63 byte di dati
249 (*4)	SetupSlavePins Invio delle impostazioni per i pin di uno "slave"	1 byte (slave index) 1 byte (numero di byte dati) nn byte (PinTypes: 1 byte ogni pin) 1 byte (CRC - Cmd/SlaveId/ etc....)	1 byte (slave index) <i>1 byte (CRC) sul byte precedente</i>
248 (*4)	SetMasterName Invio del nome del "master"	nn byte (caratteri del nome terminati con zero)	
247 (*4)	GetMasterName Lettura del nome del "master"		nn byte (caratteri del nome terminati con zero)
246 (*4)	SendValuesToSlave Invio di "n" bytes allo slave "m" (max 56 byte)	1 byte (slave index) 1 byte (numero di byte) byte 1 . . . byte n 1 byte (CRC - Cmd/SlaveId/nBytes/n)	1 byte (slave index) 1 byte (CRC) sul byte precedente
245 (*4)	GetValuesFromSlave Richiesta di "n" bytes dallo slave "m" (max 56 byte)	1 byte (slave index) 1 byte (numero di byte) 1 byte (CRC - Cmd/SlaveId/nBytes)	byte 1 . . . byte n 1 byte (slave index) 1 byte (CRC) sugli n + 1 byte precedenti
244 (*4)	SendBytesToSlave Invio di "n" bytes allo slave "m" (max 56 byte)	1 byte (slave index) 1 byte (numero di byte) byte 1 . . . byte n 1 byte (CRC - Cmd/SlaveId/nBytes/n)	1 byte (slave index) 1 byte (CRC) sul byte precedente
243 (*4)	GetBytesFromSlave Richiesta di "n" bytes dallo slave "m" (max 56 byte)	1 byte (slave index) 1 byte (numero di byte) 1 byte (CRC - Cmd/SlaveId/nBytes)	byte 1 . . . byte n 1 byte (slave index) 1 byte (CRC) sugli n + 1 byte precedenti
199 (*5)	SetSpeed	1 byte (Comm. Speed) 1 byte (CRC - Cmd/Comm.Speed)	
0	Nessuna azione		

(*1) Comandi di servizio.

(*2) Il comando Recog viene usato solo dal master e dagli slaves durante il riconoscimento.

(*3) Comunicazione veloce - il master scambia i valori con tutti gli slaves usando un solo scambio USB

(*4) Comandi di comunicazione sicura verso il singolo slave

(*5) Comandi speciali

Tutti i comandi hanno codici da 200 a 255, per evitare che, in caso di errori, gli ID e i tipi degli slave (da 0 a 199) possano venir interpretati come comando. (SetSpeed non conta perché non viene mai inviato lungo la linea seriale ma solo dall'HAL, verso il Master, via USB)

Comunicazione Master – Slave (i comandi Send e Get)

SendValuesToSlave

Invia i valori ai Pin di Output di uno slave (virtuale sul Master o Fisico nei moduli Slave)

GetValuesFromSlave

Legge i valori dai Pin di Input di uno slave (virtuale sul Master o Fisico nei moduli Slave)

SendBytesToSlave

Invia byte generici (ad esempio di configurazione), verso uno slave (virtuale sul Master o Fisico nei moduli Slave)

GetBytesFromSlave

Legge byte generici (ad esempio di stato), da uno slave (virtuale sul Master o Fisico nei moduli Slave)

Comunicazione tra Host e Master (USB)

Comandi da "Host" verso "Master"

Nome comando	ID	PARAMETRI
	USB_TxData[0]	USB_TxData[1 to n]

RecogStart	CommandID,	Nbytes
FastDataExchange	CommandID,	0 to 60 data bytes
SetupSlavePins	CommandID,	SlaveId, Nbytes
SetMasterName	CommandID,	MasterName (terminato con zero)
GetMasterName	CommandID	
SendValuesToSlave	CommandID,	SlaveId, Nbytes, Byte1....ByteN
GetValuesFromSlave	CommandID,	SlaveId, Nbytes
SendBytesToSlave	CommandID,	SlaveId, Nbytes, Byte1....ByteN
GetBytesFromSlave	CommandID,	SlaveId, Nbytes
SetSpeed	CommandID,	CommSpeed

Risposte da "Master" verso "Host"

Nome comando	RESPOSTA	VALORI DI RITORNO
	USB_RxData[0]	USB_RxData[1 to n]

RecogStart	0 = OK	Nslaves, SlaveType1....SlaveTypeN
FastDataExchange	0 = OK	0 to 63 data bytes
SetupSlavePins	0 = OK	- - -
SetMasterName	0 = OK	- - -
GetMasterName	0 = OK	MasterName (terminato con zero)
SendValuesToSlave	0 = OK	- - -
GetValuesFromSlave	0 = OK	Byte1....ByteN
SendBytesToSlave	0 = OK	- - -
GetBytesFromSlave	0 = OK	Byte1....ByteN
SetSpeed	0 = OK	- - -

La posizione zero del Buffer USB indica se il comando è stato eseguito dal "Master" con successo.

Calcolo dei CRC

Tutti i CRC usati sono calcolati su un certo numero di byte consecutivi e il CRC risultante è un byte.

Per il calcolo del CRC si usa un algoritmo basato sul "Cyclical redundancy check"

CRC – Test di ridondanza ciclico

```
-----  
Dim CRC as Byte  
CRC = 0  
For each byte b  
    CRC = CRC Xor b  
Next
```

Per evitare "collisioni" tra sequenze banali (ad esempio 0000 = 1111 o 123 = 321) e sequenze semplici che producono CRC validi (ad esempio 0000 con CRC = 0) il metodo precedente viene modificato con una permutazione.

Il calcolo del CRC risultante è efficiente ed estremamente semplice.

Calcolo del CRC usato in questo protocollo

```
-----  
Dim CRC as Byte  
CRC = 0  
For each byte b  
    CRC = CRC Xor b  
    CRC = CRC + 1  
Next
```

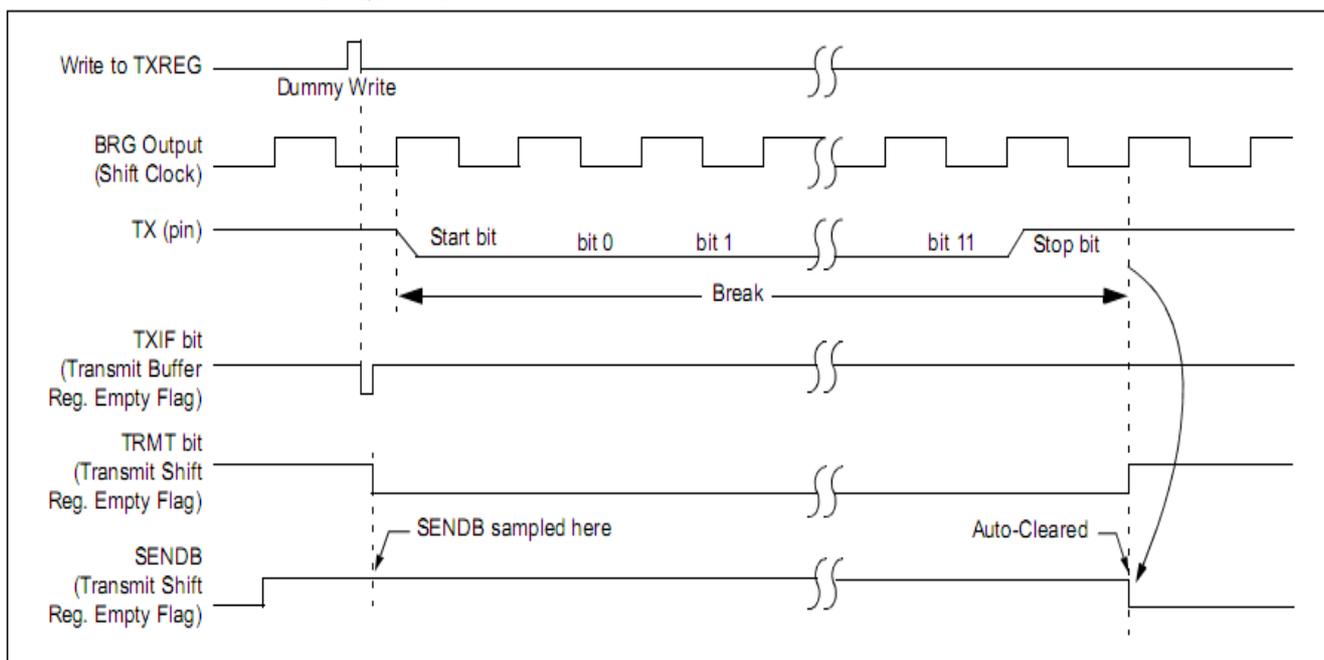
Impostazione della velocità di trasmissione

Se si decide di usare una velocità di trasmissione diversa da quella di default allora il "master" deve comunicare a tutti i dispositivi della catena la nuova velocità da usare.

Questa impostazione deve essere possibile anche prima di aver effettuato un ciclo di riconoscimento dei dispositivi e deve essere possibile anche con linee di trasmissione molto lunghe. Pertanto esiste il comando speciale che viene ora illustrato.

- 1) Il "master" mantiene la linea alta per 50 mS
- 2) Tutti gli "slave" sono sicuramente posizionati in attesa di un carattere
- 3) Il "master" genera un BREAK (linea a livello basso per 12 bit alla minima velocità)
- 4) Il master emette un carattere 55h (01010101) al baud rate desiderato
- 5) Tutti gli slave deducono il baud rate da questo byte (auto-baud)
- 6) Il master manda un byte che specifica la "Speed" (da 1 a 12)
- 7) Il master manda un byte di CRC calcolato su due byte (cmd / speed)
- 8) Se lo slave riscontra un errore non cambia la sua velocità.

BREAK CHARACTER SEQUENCE



Verifica della velocità di trasmissione

Se si imposta una velocità troppo alta per la linea di trasmissione in uso è possibile che alcuni dispositivi della catena non siano in grado di sostenere la velocità impostata e che si verifichino errori durante la trasmissione dei dati.

Se gli errori di trasmissione sono pari a zero o minori dello 0.1% allora la velocità impostata è valida.

Riconoscimento e numerazione

- 1) Il "master" emette verso gli "slave" la sequenza di impostazione "Speed" per assicurarsi che tutti comunichino alla stessa velocità.
 - 2) Il "master" non trasmette comandi per 50 millisecondi.
 - 3) A questo punto tutti gli "slave" *dovrebbero* essere in attesa di un comando.
 - 4) Il "master" emette un "254" (RecogStart).
 - 5) Tutti gli "slave" mettono il weak-pull-up (100..400 uA) sul filo di input-output e aprono il collegamento di uscita verso i dispositivi a valle. Inoltre essi non rispondono più a nessun comando tranne il "253" (Recog)
 - 6) Il "master" emette un "253" (richiesta del tipo) e poi un byte con il numero "0", il primo dispositivo della catena risponde un byte con il suo tipo, toglie il pull-up, collega l' uscita verso gli "slave" a valle e non risponde più a nessun comando.
 - 7) Il "master" emette un "253" (richiesta del tipo) e poi un byte con il numero "1", il secondo dispositivo della catena risponde un byte con il suo tipo, toglie il pull-up, collega l' uscita verso gli "slave" a valle e non risponde più a nessun comando.
 - 8) Il "master" emette un "253" (richiesta del tipo) e poi un byte con il numero "2"

.... il "253" (richiesta del tipo) viene ripetuto fino ad un massimo di 200 volte
- Quando nessun dispositivo risponde più per una durata maggiore di dieci bit alla velocità di trasmissione attuale, vuol dire che la catena è finita. Per evitare questo calcolo si può usare un time-out di 12mS che funziona sempre, anche alla velocità più bassa.*
- 9) Il "master" emette verso gli "slave" tutta la sequenza di impostazione "Speed" che riporta tutti gli "slave" nella modalità di normale comunicazione.
 - 10) Il "master" comunica al computer "host", tramite USB, il numero di "slave" riconosciuti e il tipo di ciascuno di essi.

Roberto Cena & Livio Cicala – 2010 to 2016