

7 Secure Digital Card (SDcard)

7.1 Descrizione generale

La Secure Digital (SD) card è una scheda di memoria “flash-based” con grande capacità di immagazzinamento dati (da 16Mb a 2GB a seconda della scheda) largamente utilizzata nell’ambito della telefonia mobile di ultima generazione e nella fotografia digitale.

La comunicazione con l’SDcard avviene tramite un’interfaccia a 9 pin (totalmente compatibile con quella delle MultiMediaCard) disegnata per lavorare a bassa tensione di alimentazione; il protocollo di comunicazione (SDcard Protocol) prevede l’uso di 4 linee dati ad alta velocità (fino a 50Mhz).

L’SDcard supporta anche il protocollo SPI (Serial/Parallel Interface) nel caso l’utente abbia necessità, come nel nostro caso, di interfacciare la Card con un microcontrollore.



7.1.1 Caratteristiche

- Fino a 2GB di memoria
- Compatibilità con il protocollo SPI
- Copyrights Protection
- Voltage Range:
 - 2,0 – 3,6 V per le operazioni di base (CMD0,CMD1,CMD15)
 - 2,7 – 3,6 V per tutti gli altri comandi
- Velocità di clock variabile:
 - 0 – 25 MHz (default)
 - 0 – 50 MHz (alta velocità)
- Transfer Rate:
 - Una linea dati (SPI Mode): 6,2 MB/s (25 Mhz)
 - Quattro linee dati (SD Bus Mode): 25 MB/s (50 Mhz)
- Correzione degli errori (ECC)
- Protezione tramite password
- Protezione dalla scrittura tramite switch meccanico
- Individuazione della Card in caso di “Hot-Insertion” (inserimento della carta mentre il circuito è alimentato)

- Pratico comando di *Erase* per una veloce rimozione dei dati

Occorre ricordare che per il raggiungimento dei nostri scopi non è stato necessario ricorrere a tutte le potenzialità offerte dalle SDcard, ma che esse vengono comunque riportate in previsione di prossime evoluzioni dell'actigrafo realizzato.

ECC (Error Correction Code)

Similmente ai dischi magnetici l'SDCard possiede un sofisticato sistema di individuazione e correzione degli errori: a seguito di una scrittura, la carta effettua una lettura dei dati appena scritti e qualora trovi delle incongruenze con i dati originali, li corregge.

Tutto questo è completamente trasparente all'*host* e non occupa spazio in memoria

7.1.2 Specifiche fisiche

Temperatura	Operatività: da -25°C a 85°C Non operatività: meno di -40°C o più di 85°C
Umidità	Operatività: da 25% a 95% (senza condensazione) Non operatività: meno di 25% o più di 95% (senza condensazione)
Durata	10,000 cicli di scrittura

Peso	2.0 g
Lunghezza	32 mm
Larghezza	24 mm
Spessore	2.1 mm

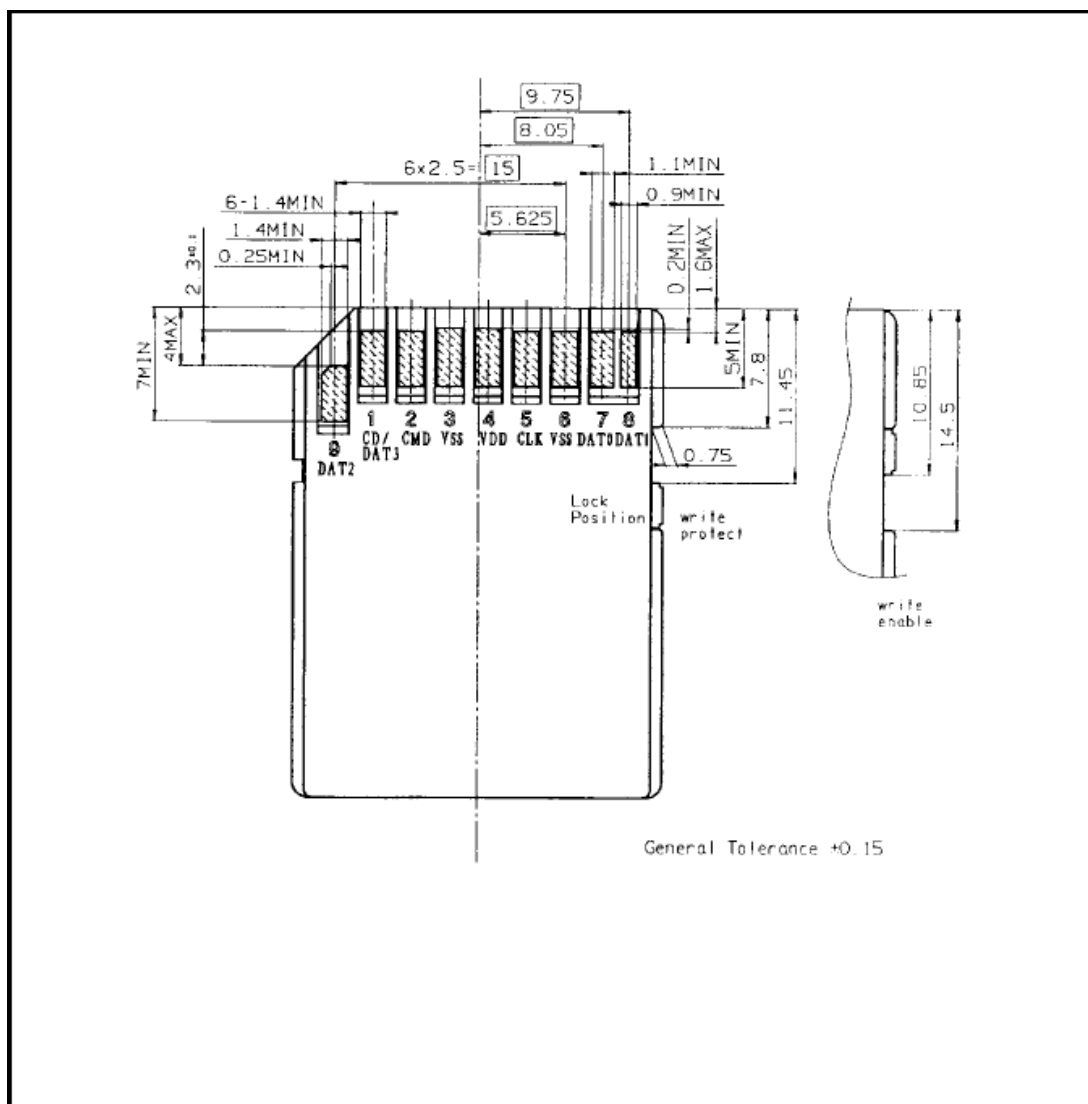


Figura 1: SDcard (visione dall'alto)

7.1.3 Specifiche elettriche

Card Power Requirement

Valori tipici a 25 °C @ 3.0 V

Operazione	Consumo di corrente
Scrittura	75 mA
Lettura	65 mA
Sleep	250 μ A

Performance

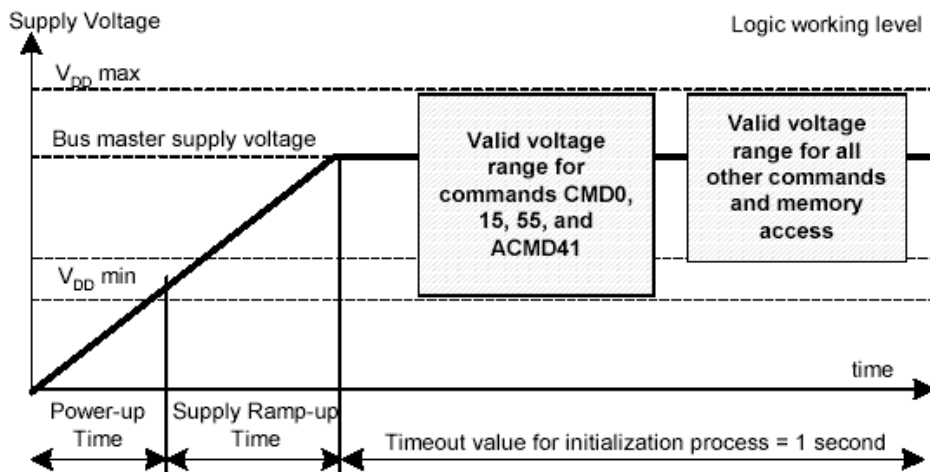
Valori tipici e massimi sotto le seguenti condizioni:

- Condizione di operatività (temperatura e umidità)
- Alimentazione a 2.7 - 3.6 V
- Indipendenza dal clock

Operazione	Tipico	Massimo
Tempo di accesso al blocco (lettura)	0,5 ms	100 ms
Tempo di accesso al blocco (scrittura)	0,5 ms	250 ms
CMD1 ¹	50 ms	500 ms
Passaggio da Sleep a Ready	1 ms	2 ms

7.1.4 Interfaccia elettrica

Sequenza di accensione



- **Power Up time:** tempo necessario per raggiungere il livello di tensione minima (1-2 millisecondi)
- **Supply Ramp-up time:** tempo necessario a raggiungere la tensione di 3 V; durante questa fase l'*host* deve inviare alla carta una stringa di almeno 74 bit a "1": questo permetterà alla carta di risolvere eventuali problemi di sincronizzazione. Il CS può essere, indifferentemente, alto o basso.

A questo punto la SDcard si trova in *Idle-State* e passa alla sequenza di inizializzazione, differente a seconda del protocollo di comunicazione utilizzato.

Il *timeout* per questo processo è di un secondo oltre il quale, se la carta non è ancora inizializzata, sarà necessaria un'operazione di reset prima di poter effettuare un altro tentativo.

¹ v. Descrizione dei comandi

Livelli di tensione

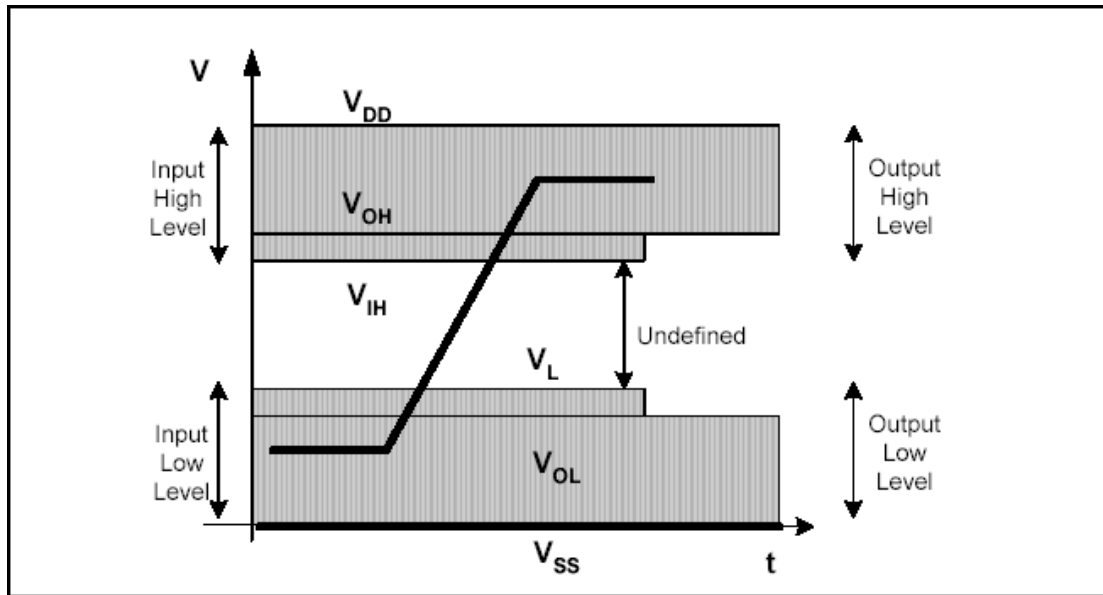


Table 3-6 Input/Output Voltage

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit	Conditions
Output high voltage	V_{OH}	$0.75 \cdot V_{DD}$	---	V	$I_{OH} = -100 \mu A @ V_{DD}$ (minimum)
Output low voltage	V_{OL}	---	$0.125 \cdot V_{DD}$	V	$I_{OL} = 100 \mu A @ V_{DD}$ (minimum)
Input high voltage	V_{IH}	$0.625 \cdot V_{DD}$	$V_{DD} + 0.3$	V	---
Input low voltage	V_{IL}	$V_{SS} - 0.3$	$0.25 \cdot V_{DD}$	V	---

7.1.5 Struttura della memoria

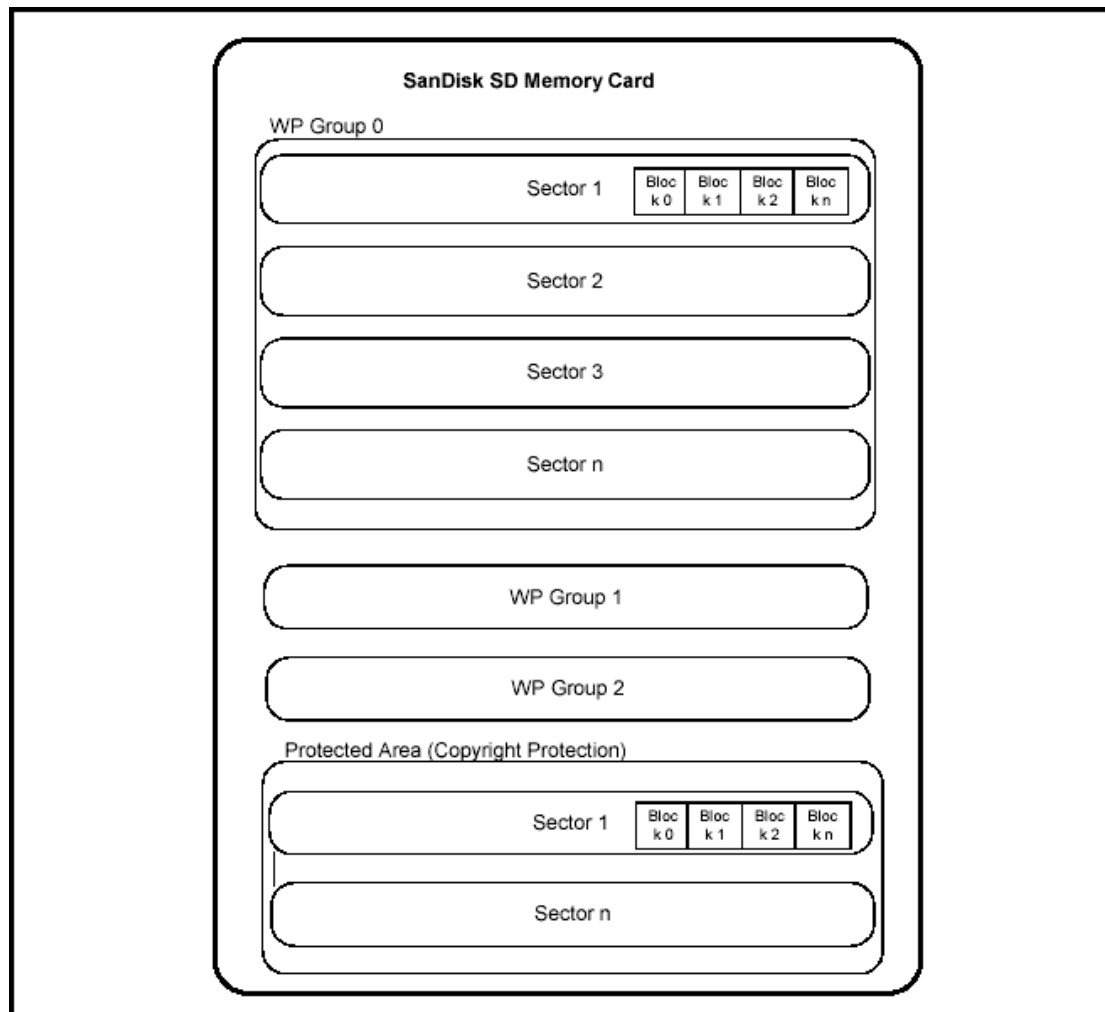


Figura 2: rappresentazione della memoria dell'SDcard

- **Block:** unità base costituita da 512 byte.
- **Sector:** unità usata dal comando erase: rappresenta il numero di blocchi che verranno eliminati. La dimensione di *sector* dipende dalle dimensioni della memory card.
- **WP:** o Write Protect, è la più piccola unità con protezione da scrittura individuale.
- **Protect Area (Copyright Protection):** circa l'1 - 1,2% della memoria complessiva della SDcard è utilizzata da questo sistema di protezione per tutelare il diritto d'autore. I file (per esempio gli MP3 originali) che vengono scritti sulla memoria hanno un campo dati contenente le informazioni sull'autore: queste informazioni vengono scritte sulla Protect Area. Se l'utente cerca di copiare più volte (tipicamente 3 volte) lo stesso file sulla memoria, questa si blocca e non vi è modo di ripristinarla.

Un progettista che si accinge a programmare le SDcard non deve preoccuparsi del Copyright Protection in quanto non vi è modo, con un normale comando di scrittura, di accedere a quest'area.

Questo inconveniente può però presentarsi qualora il circuito realizzato abbia un difetto di progettazione (p.e. se una delle due masse della SDcard è scollegata).

7.2 SPI Mode

Il protocollo SPI si basa su quattro segnali:

CS: Chip Select (abilita \ disabilita la scheda)

CLK: Clock

SI: Data In

SO: Data Out

I primi tre sono inviati dall'*host* al dispositivo, mentre l'ultimo rappresenta la risposta al comando e conseguentemente compie il percorso inverso.

Esistono alcune differenze sostanziali tra l'SD Bus Mode e l'SPI Mode:

1. Il primo utilizza 4 linee dati di cui una bidirezionale (CMD/DAT), mentre il secondo ha due linee unidirezionali, una per i comandi e una per i dati: questo impedisce alla carta che utilizza l'SPI Mode di raggiungere le massime prestazioni, pur mantenendo una velocità più che adeguata per i nostri scopi.
2. Nell'SPI Mode i *data token* ("pacchetti di dati") sono multipli di 8 byte e sono sempre allineati con il segnale CS (attivo basso). CS può rimanere attivo durante tutte le operazioni ad eccezione della fase di programmazione durante la quale può essere disabilitato senza compromettere l'operazione stessa.
3. La carta risponde sempre ai comandi con una risposta a 8 (R1) o a 16 bit (R2).
4. Dopo ogni scrittura la carta risponde con una *data token* che informa l'*host* se si sono verificati degli errori.
5. Per default in SPI Mode il CRC (Controllo di Ridondanza Ciclico) è disabilitato.

Lo standard SPI definisce solamente il collegamento fisico ("Physical Link") e non il protocollo completo di trasferimento dati; nell'SPI Mode viene utilizzato un sottoset di istruzioni dell'SDcard Protocoll.

Piedinatura

Pin	Nome	Tipo	Descrizione
1	CS	Input	Chip Select (attivo basso)

Pin	Nome	Tipo	Descrizione
2	DataIn	Input	Comandi e dati inviati dall'host all'SDcard
3	Vss1	Alimentazione	Ground
4	Vdd	Alimentazione	Tensione di alimentazione
5	CLK	Input	Clock inviato dall'host
6	Vss2	Alimentazione	Ground
7	DataOut	Output	Dati e Status inviati dalla SDcard all'host
8	RSV ²	--	Riservati
9	RSV ³	--	Riservati

7.2.1 Selezione della modalità

L'SDcard si “sveglia” in SD Bus Mode. Commuterà in SPI Mode se durante la ricezione del comando di Reset (CMD0) il CS sarà attivo (basso). In questo caso la carta entrerà in SPI Mode e risponderà al comando di Reset con la risposta R1.

L'unico modo per ritornare al protocollo SD Bus è spegnendo la Card.

Nonostante nella modalità SPI il CRC sia disabilitato, all'arrivo del CMD0 la carta è ancora in SD Bus Mode e quindi necessita di un CRC valido; CMD0 è un comando statico (non accetta parametri) e genera sempre lo stesso CRC pari a 95h. Una volta entrati in SPI Mode i CRC di tutti i comandi seguenti verranno ignorati.

L'intera sequenza del comando di reset si presenta come: 40 00 00 00 00 95 (hex).

7.2.2 Reset Sequence

Dopo l'arrivo del CMD0 la card entra in *Idle State*. In questo stato gli unici comandi validi che l'host può inviare sono CMD1, CMD58 (invio del Registro OCR) e CMD59 (v. “*Struttura dei comandi*”).

Per entrare in stato *Ready*, l'host può inviare continuamente il comando CMD1 finché l'ultimo bit della risposta R1 non è uguale a 0 (v. “*Struttura delle Risposte*”). A quel punto il processo di inizializzazione è terminato e l'SDcard è pronta per ricevere qualunque comando.

7.2.3 Clock Control

Esistono un paio di considerazioni alle quali l'host deve prestare attenzione:

- la frequenza del clock può essere cambiata in qualunque momento, a patto che non superi la frequenza massima;

² Questo pin può presentare delle fluttuazioni di corrente: è responsabilità del progettista prevenirle collegandolo con una resistenza di pull-up

³ Come sopra

- dopo ogni operazione l'*host* deve fornire alla scheda 8 cicli di clock. Il CS può essere attivo oppure no. Alcuni esempi:
 - a seguito di una sequenza risposta\comando;
 - a seguito di un'operazione di lettura\scrittura
- l'*host* può smettere di fornire il clock ad una carta in stato *Busy* (dopo una scrittura). L'SDcard completerà l'operazione comunque. Tuttavia l'*host* deve prevedere un fronte di clock alla carta per "spegnere" il *busy signal* altrimenti la carta forzerà la *data line* a '0' permanentemente.

7.2.4 Struttura dei comandi

Tutti i comandi della SDcard hanno una lunghezza di 6 byte e sono trasmessi a partire dal bit più significativo (*MSB first*).

Byte 1			Bytes 2—5				Byte 6	
7	6	5	31				7	0
0	1	Command	Command Argument				CRC	1

Il codice binario di *Command* è definito dal simbolo mnemonico del comando stesso: Per esempio CMD39 equivale a '100111' (binario).

Di seguito vengono riportati i comandi principali della SDcard. Sono stati omissi i comandi che si riferiscono alla scrittura/lettura multiblocco, i comandi di *erase* e quelli che permettono la lettura dei registri interni della SDcard perché non utili ai fini della nostra trattazione.

CMD	Argomento	Ris	Abbreviazione	Descrizione
CMD0	Nessuno	R1	GO_IDLE_STATE	Resetta l'SDcard
CMD1	Nessuno	R1	SEND_OP_COND	Entra in stato <i>Ready</i>
CMD13	Nessuno	R2	SEND_STATUS	Chiede alla carta di inviare il suo status register
CMD16	[31..0] block length	R1	SET_BLOCKLEN	Seleziona la lunghezza del blocco dati per tutti i seguenti comandi di lettura\scrittura ⁴
CMD17	[31..0] data address	R1	READ_SINGLE_BLOCK	Legge un blocco della dimensione fissata dal CMD16
CMD24	[31..0] data address	R1 ⁵	WRITE_BLOCK	Legge un blocco della dimensione fissata dal CMD16

⁴ L'unica lunghezza del blocco dati valida (in scrittura) è di 512 byte. Per la lettura è compresa tra 1 e 512 byte. Settare una lunghezza inferiore a 512byte causerà un errore di scrittura. Per default la lunghezza del blocco dati è di 512 byte.

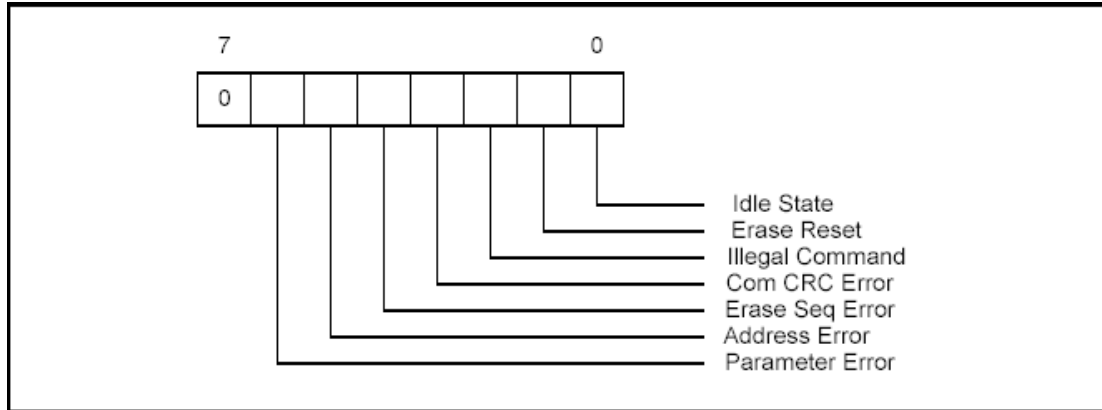
CMD	Argomento	Ris	Abbreviazione	Descrizione
CMD59	[31..1] ignorati [1..1] CRCooption	R1	CRC_ON_OFF	CRCooption='1' attiva il CRC CRCooption='0' disattiva il CRC

⁵ I dati inviati alla scheda sono seguiti da un *data response* (v. “Struttura della risposte”) più una serie di bit di *busy*.

7.2.5 Struttura delle risposte

Response R1

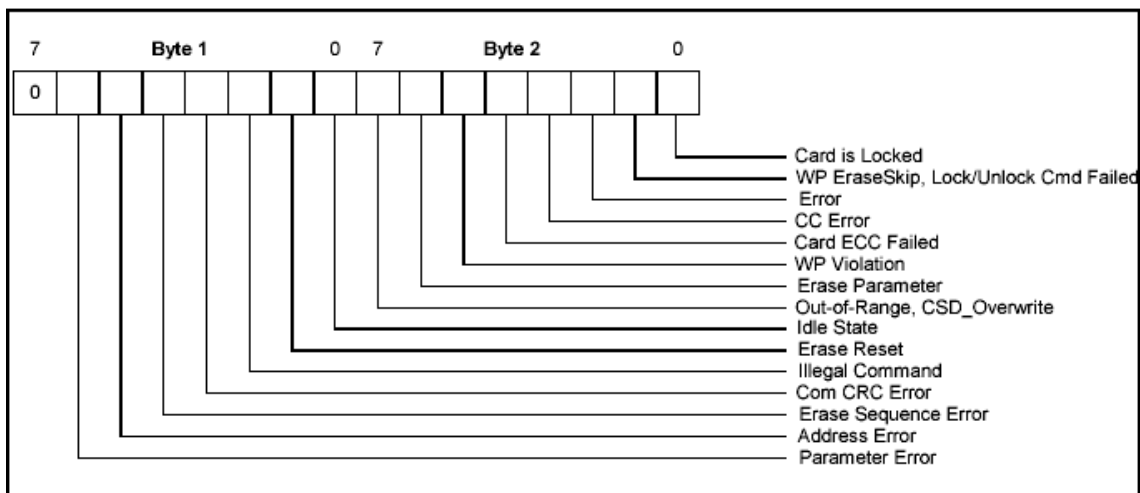
Rappresenta il *Response Token* con il quale tutti i comandi (ad eccezione del SEND_STATUS) rispondono. È lunga 8 bit e il più significativo è sempre a zero. Un '1' indica un errore.



- **Idle State:** se settato (= '1') indica che la carta è in attesa di un comando per entrare in stato *Ready*.
- **Erase Reset:** Una sequenza di cancellazione è stata interrotta a seguito dell'arrivo di un'altra sequenza di cancellazione.
- **Illegal command:** codice del comando non riconosciuto
- **Erase sequence error:** errore durante l'esecuzione del comando di cancellazione
- **Address Error:** l'indirizzo fornito non coincide con l'inizio di uno dei blocchi della scheda o è a cavallo tra due blocchi.
- **Parameter error:** i parametri del comando sono fuori dal range permesso.

Response R2

Risposta a seguito della richiesta di invio dello Status Register (CMD13): questo comando si utilizza per verificare che l'ultima operazione effettuata sia andata a buon fine.



I primi otto bit sono identici alla risposta R1. Di seguito è descritto il contenuto del secondo byte:

- **Card is locked:** la carta è bloccata in scrittura perché l'interruttore sulla carta è nella posizione "locked".
- **WP erase skip:** alcuni blocchi non possono essere cancellati perché protetti dal Write Protection.
- **Error:** Errore generale o sconosciuto.
- **CC error:** errore occorso al controllore interno della carta.
- **Card ECC failed:** l'ECC interno della carta non è riuscito a correggere i dati.
- **WP violation:** Il comando ha provato a scrivere su un blocco protetto dal Write Protection.
- **Erase Parameter:** il settore selezionato per la cancellazione non è valido.

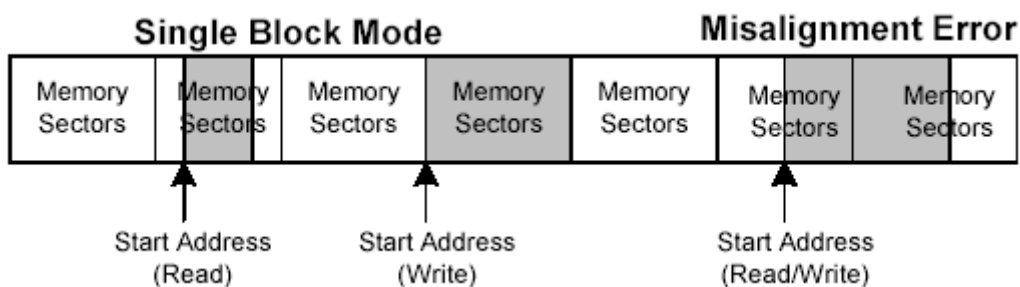
7.2.6 Operazioni di Scrittura/Lettura

In scrittura il blocco dati deve essere di 512 byte e deve essere allineato con uno dei blocchi della SDcard.

In lettura i blocchi possono essere grandi come in scrittura o piccoli fino ad un byte; non è necessario l'allineamento con uno dei blocchi della scheda, ma non si può leggere a cavallo di due blocchi.

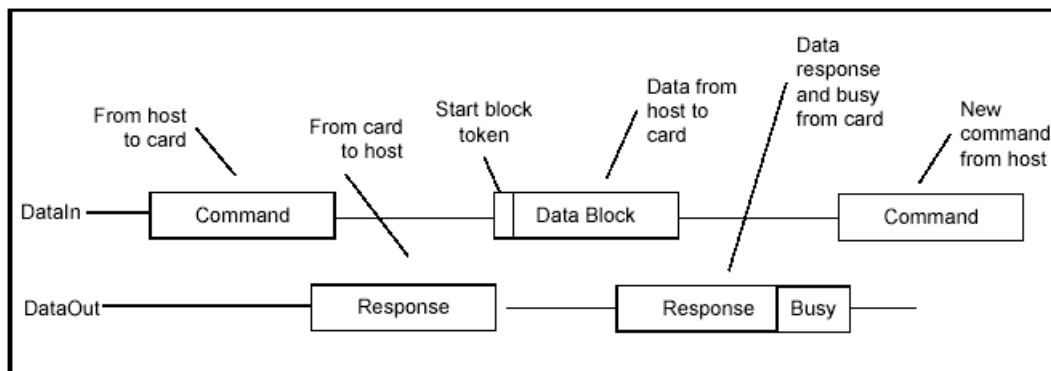
Le operazioni di lettura o di scrittura possono essere a single-block o multi-block. Si è scelta la prima strada in quanto non era richiesta una velocità tale da ricorrere alla scrittura multi-block.

Riepilogo



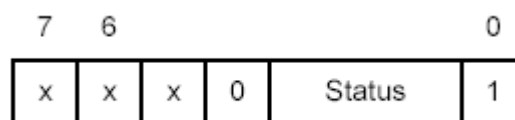
Dopo aver inviato il comando si attende la risposta standard R1 e, se tutti i suoi bit sono a "0", si procede con la trasmissione del *Data Token*. Terminata questa fase si attende il *Data Response* (un token di 8 bit descritto nel paragrafo seguente) dopodichè l'SDcard, se ha accettato il blocco dati, entra in stato *Busy* (fisicamente ponendo a il DataOut a "0") e esegue la scrittura effettiva dei dati sulla scheda. Durante questa fase ogni comando inviato alla SDcard viene rifiutato e l'*host* può disattivare il CS.

Resettare la card (inviando il CMD0) forza a terminare la programmazione: questo è estremamente pericoloso in quanto può distruggere il *Data Format* della scheda.



Data Response

Dopo la scrittura di un blocco dati la carta invia all'*host* questo *token* di 8 bit informandolo dell'esito dell'operazione:



Il significato dei 3 bit Status è il seguente:

'010': Dati accettati

'101': Dati rifiutati a causa di un errore del CRC

'110': Dati rifiutati a causa di un errore di scrittura

Costruzione del Data Token

I *data token* possono avere una lunghezza variabile tra 4 e 515 byte e, per le operazioni di lettura/scrittura a blocco singolo, sono strutturati nel modo seguente:

Byte 1: Start Block

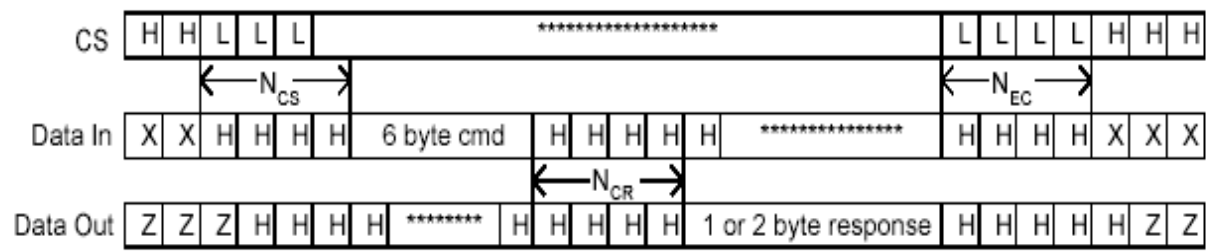


Byte 2-513 (dipende dalla lunghezza del blocco dati): Dati da scrivere sulla memoria

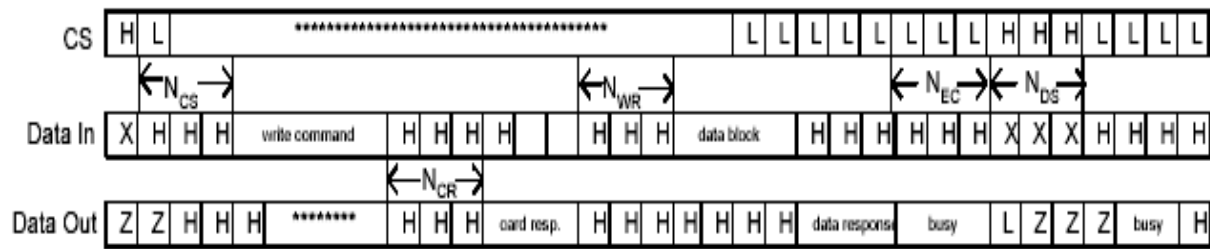
Byte 514-515: 16 bit di CRC

7.2.7 Diagrammi temporali

Comando dell'*host*/ Risposta della Card



Scrittura a blocco singolo



Legende

Abbr.	Cicli di clock
N_{CS}	Nessuno
N_{EC}	Nessuno
N_{DS}	Nessuno
N_{CR}	8-64
N_{WR}	8
N_{RC}	8

Simbolo	Definizione
H	'1' logico
L	'0' logico
X	Ininfluyente
Z	Alta inpedenza (= '1')
***	Ripetizione
Busy	Busy token (= '0')
Command	Command token
Response	Response token
Data block	Data token