



Università degli Studi di Trieste

Facoltà di Ingegneria

Laurea Specialistica in Ingegneria delle Telecomunicazioni

**SVILUPPO DI UN SISTEMA DI TRASMISSIONE DATI
PER IL SATELLITE ATMOCUBE E REALIZZAZIONE SOFTWARE
TRAMITE IL SISTEMA OPERATIVO PICOS18**

Candidato:

Simone CARNEGLIA

Relatore:

Chiar.mo Prof. Fulvio BABICH

Correlatore:

Dr. Livio TENZE

SOMMARIO

- Introduzione
- Misure scientifiche
- Salvataggio dei dati
- Trasmissione dei dati
- Implementazione
- Gestione delle risorse energetiche
- Conclusioni
- Sviluppi futuri

OBIETTIVI

REALIZZARE UN SISTEMA OPERATIVO:

- operi su **tecnologia** ad uso **commerciale**
- **basso costo** di **sviluppo** e **realizzazione**
- **comunicazione bidirezionale** con la stazione di terra (**GS**)
- operare in **diverse modalità di funzionamento**
- assicurare l'**affidabilità** dei dati in fase **acquisizione, salvataggio e trasmissione**
- operare in un'ottica di **risparmio energetico**

IL SATELLITE ATMOCUBE

- **PROGETTO INNOVATIVO DI SATELLITE DI TIPO CUBESAT**
- **SUPPORTATO DALL'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRIESTE (DEEI e DIP. FISICA)**
- **OBIETTIVO INGEGNERISTICO:**
 - sistema satellitare a basso costo
 - tecnologia commerciale;
 - risorse energetiche limitate
- **OBIETTIVO SCIENTIFICO:**
 - mappatura magnetosfera terrestre
 - misura del vento solare

IL SATELLITE ATMOCUBE

STRUTTURA:

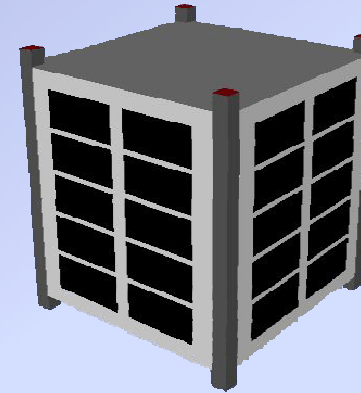
- cubo 10 cm di lato
- peso minore di 1 Kg

ORBITA:

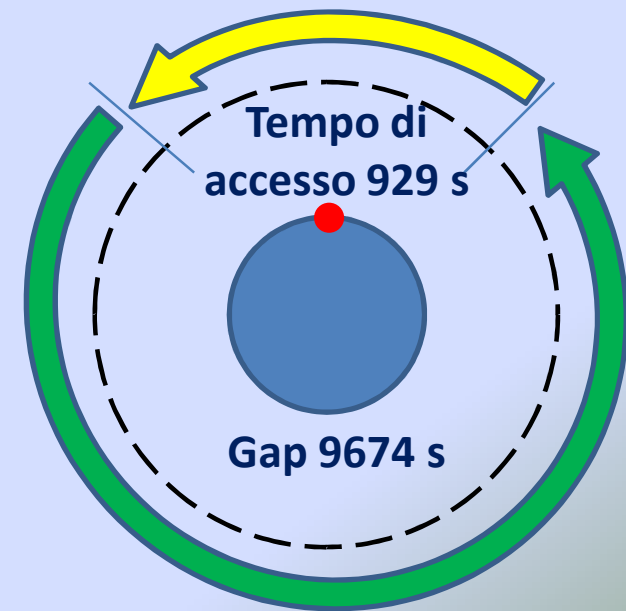
- ellittica retrograda
- perigeo 350 Km
- apogeo 1450 Km
- periodo di rivoluzione 114 min

COMUNICAZIONE:

- unica stazione di Terra (GS) a Basovizza (TS)
- modulazione 2-FSK
- velocità trasmissione dati 10 Kbit/s

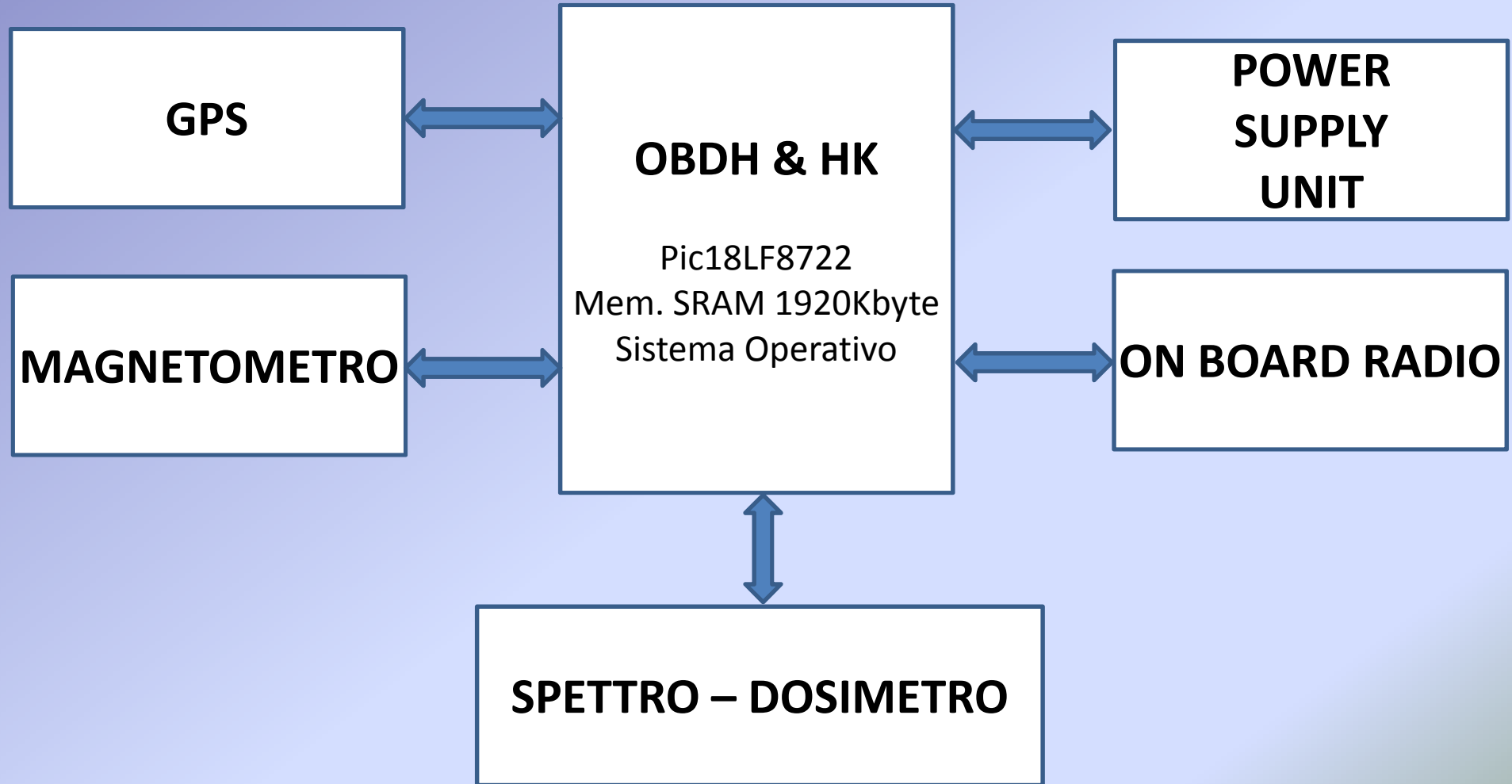


Comunicazione bidirezionale

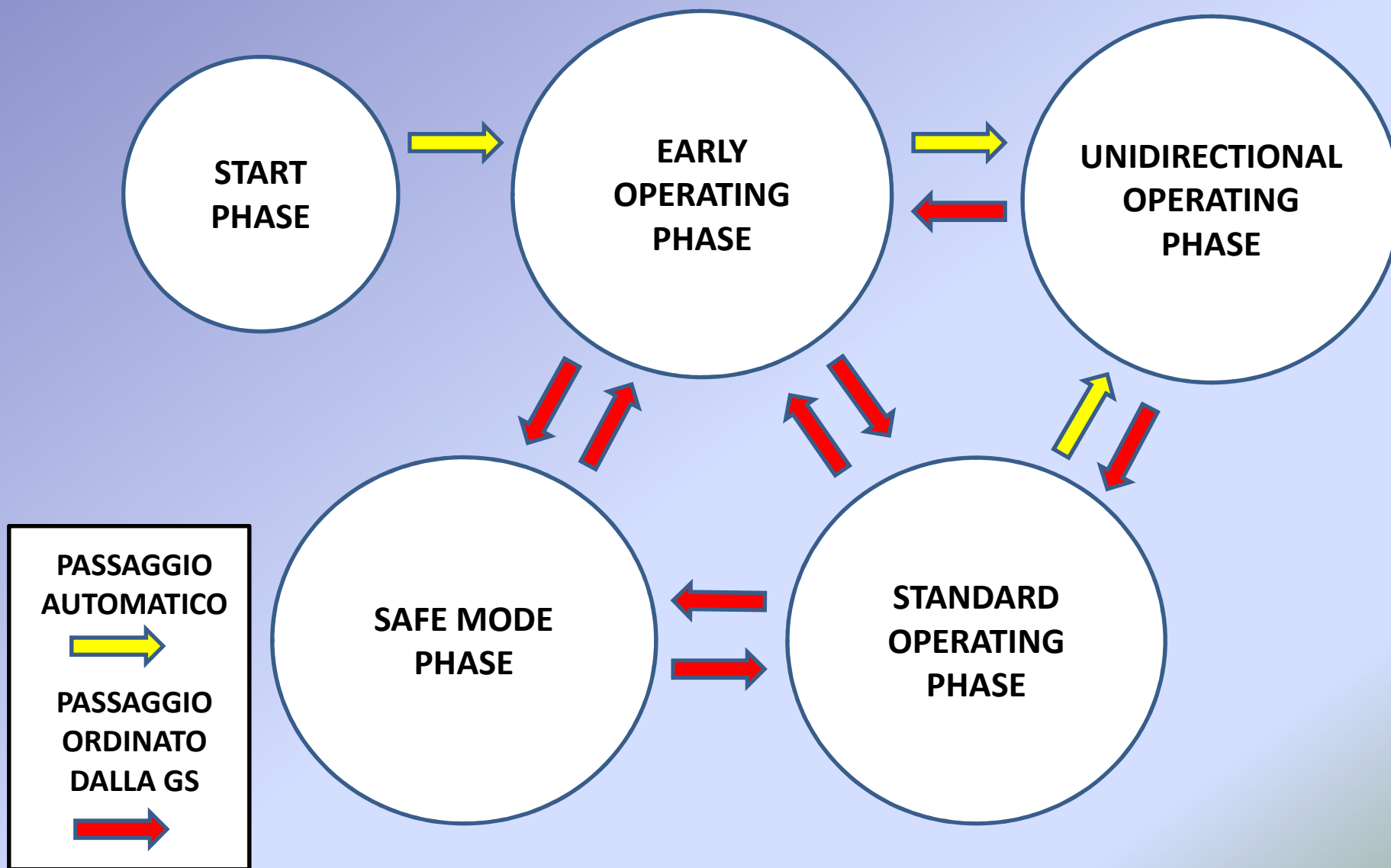


Acquisizione e salvataggio

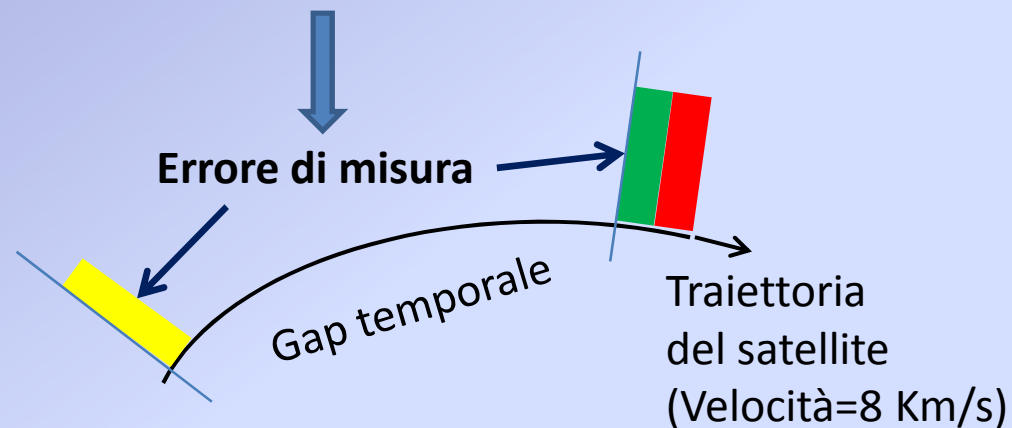
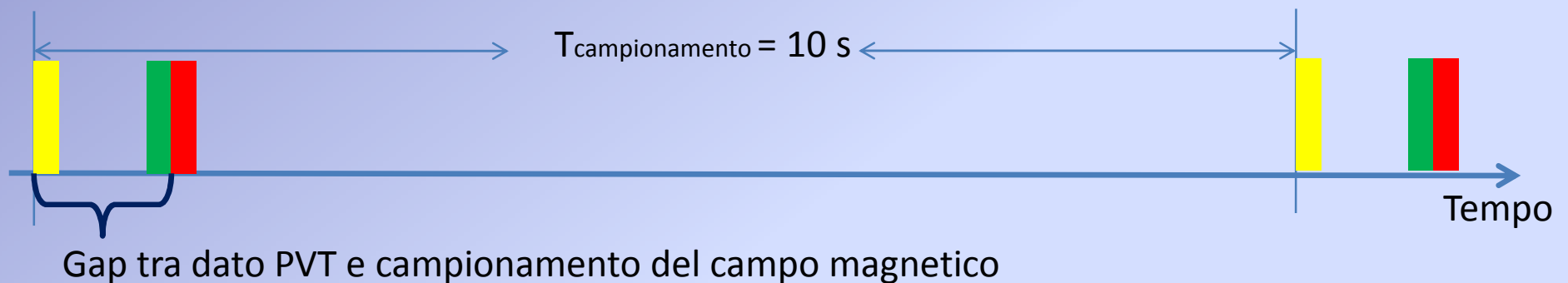
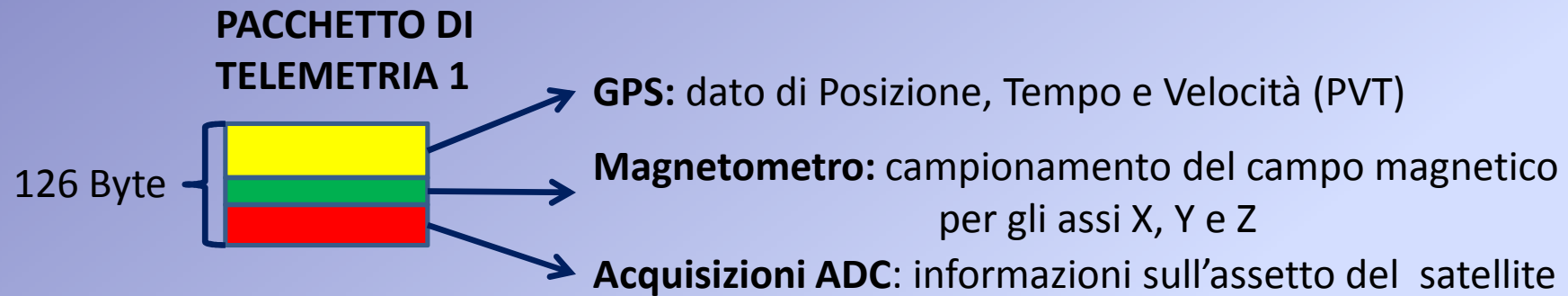
IL SATELLITE ATMOCUBE



LE FASI OPERATIVE DEL SISTEMA



LA MISURA DELLA MAGNETOSFERA



Esempio di errore:

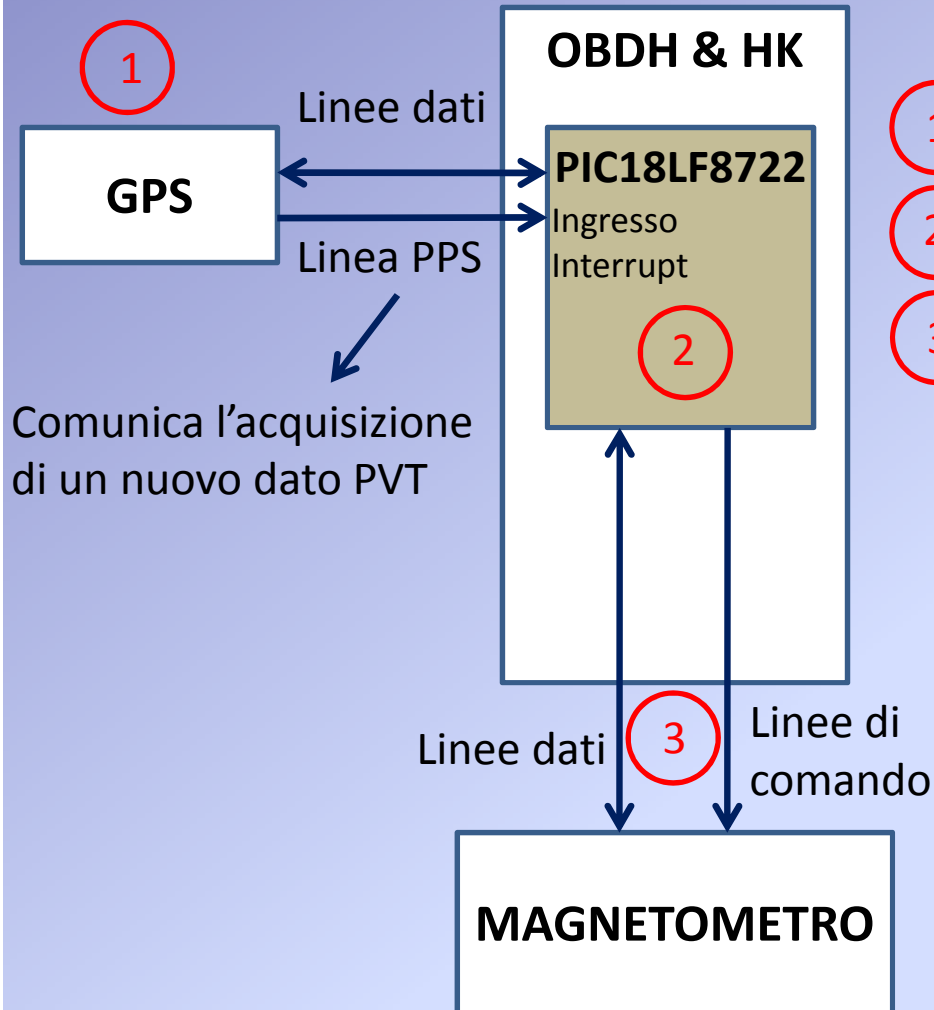
Gap=10 ms

Errore di misura = 80 m

Necessaria una sincronizzazione tra GPS e magnetometro

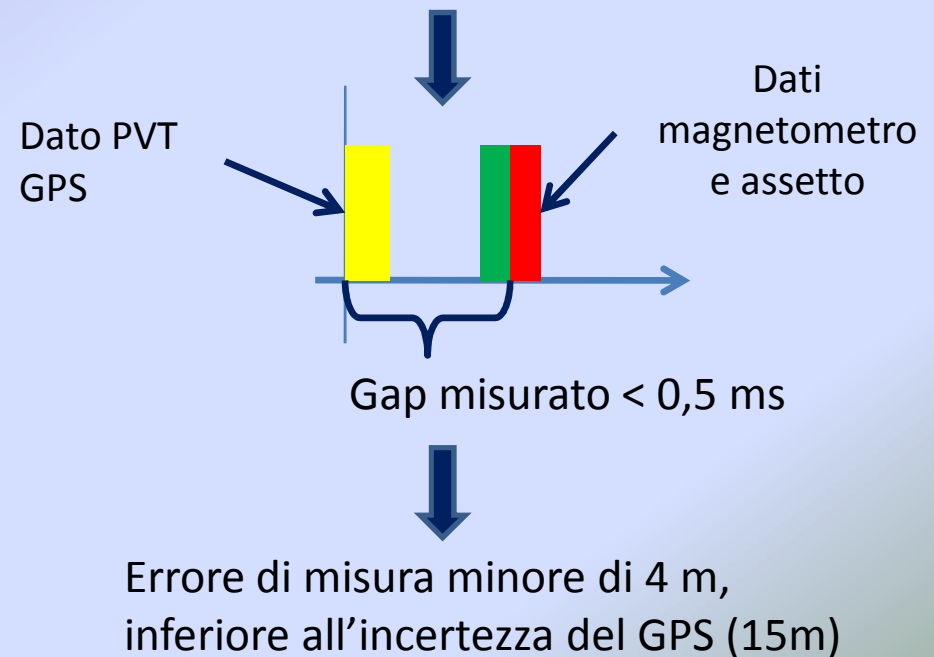
LA MISURA DELLA MAGNETOSFERA

RIDUZIONE DELL'ERRORE DI MISURA



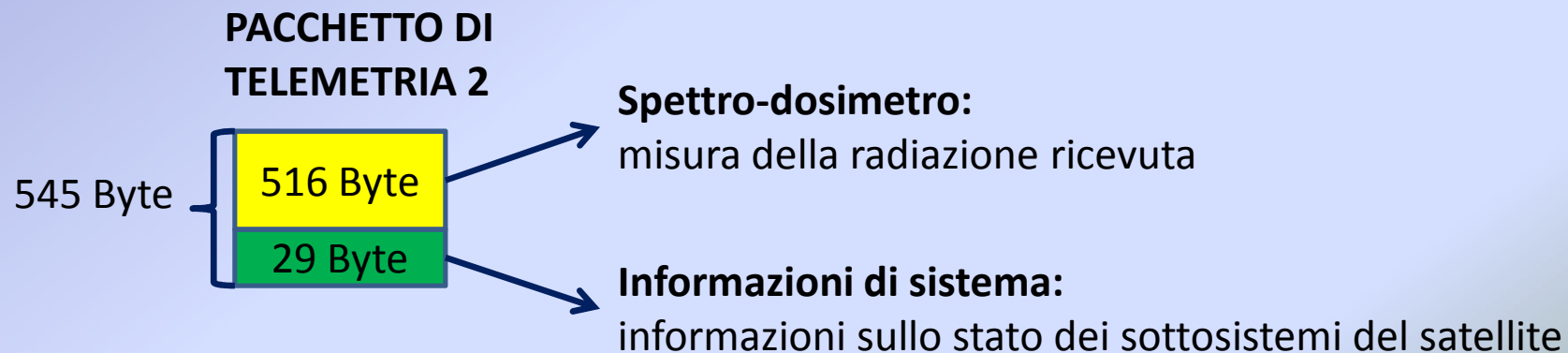
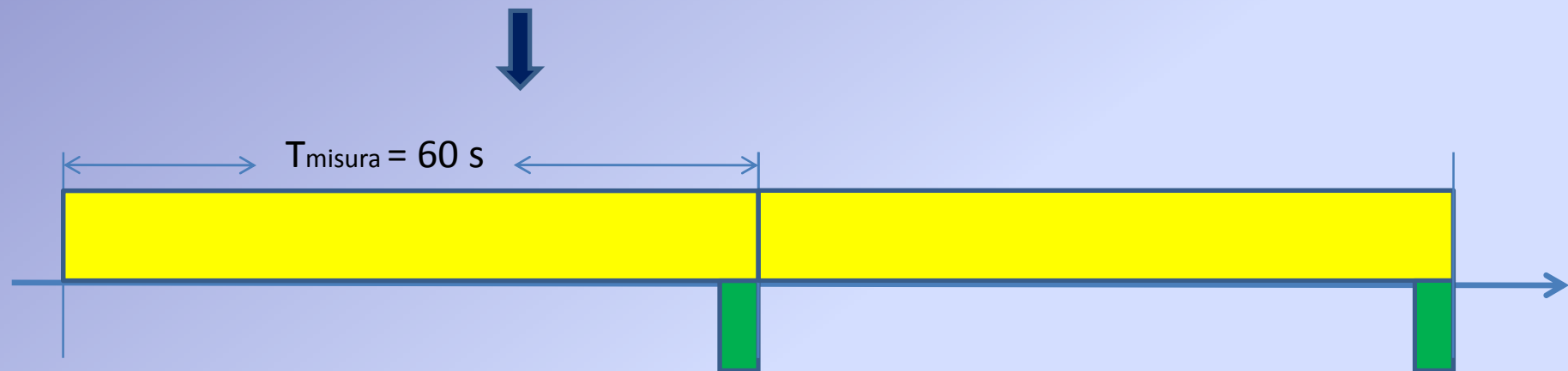
Operazioni:

- 1 una acquisizione PVT al secondo ed invio impulso PPS;
- 2 Conteggio degli impulsi ricevuti;
- 3 Ogni 10 impulsi ($T_{\text{campionamento}}$) invio del comando di campionamento.



LA MISURA DEL VENTO SOLARE

Lo **spettro - dosimetro** misura la radiazione ricevuta in un certo intervallo di tempo e trasferisce i dati acquisiti al microcontrollore



IL PROBLEMA DEL SINGLE EVENT UPSET

Single Event Upset: inversione di stato logico di un bit nei dispositivi elettronici

Particelle cariche e radiazioni ionizzanti



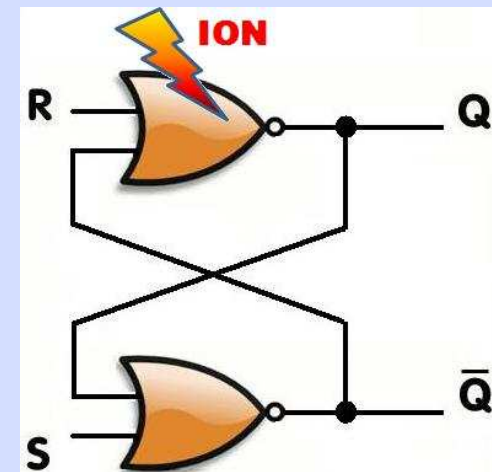
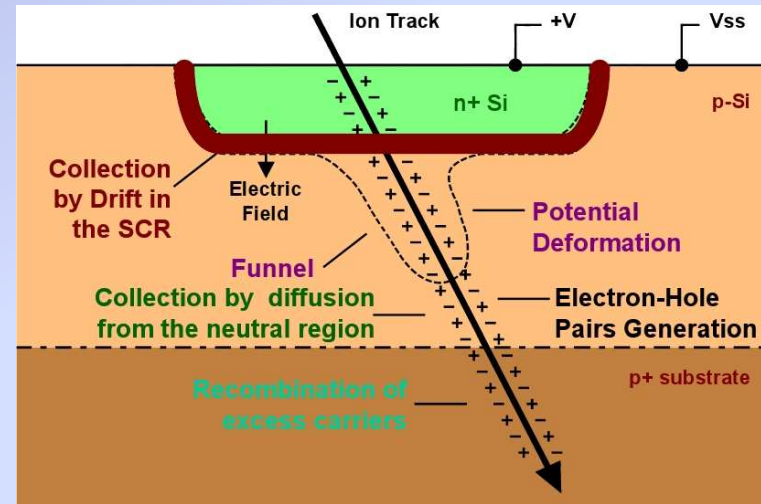
Effetti di ionizzazione sui dispositivi elettronici



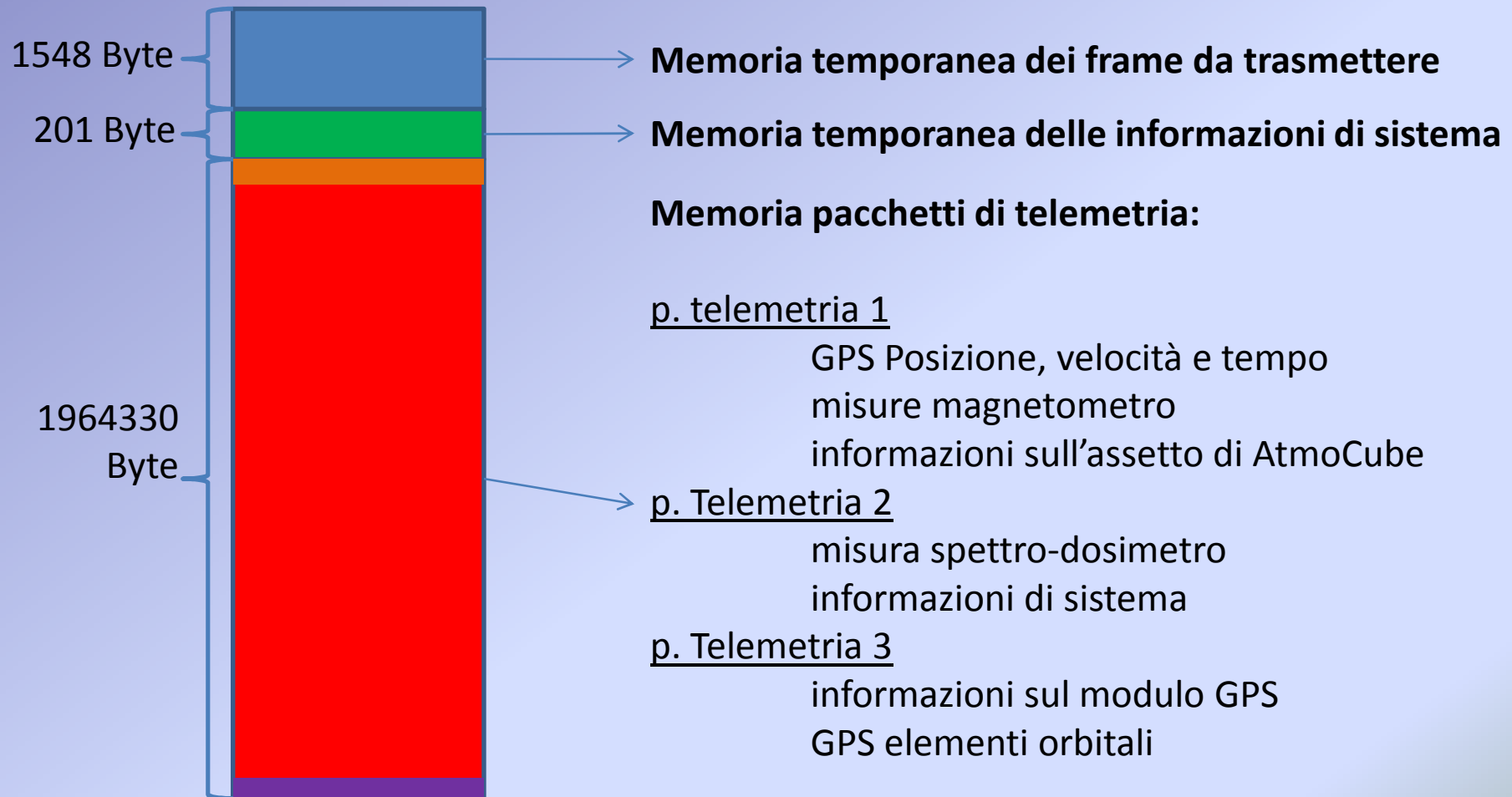
Possono provocare cambiamenti di stato logico, in particolare per le **memorie SRAM** non adatte ad applicazioni spaziali.



La NASA ha stabilito che il tasso di errore medio per satelliti in orbita **LEO tra i 20° e 80°** (Atmocube) è dell'ordine di 10^{-5} **errori/giorno**

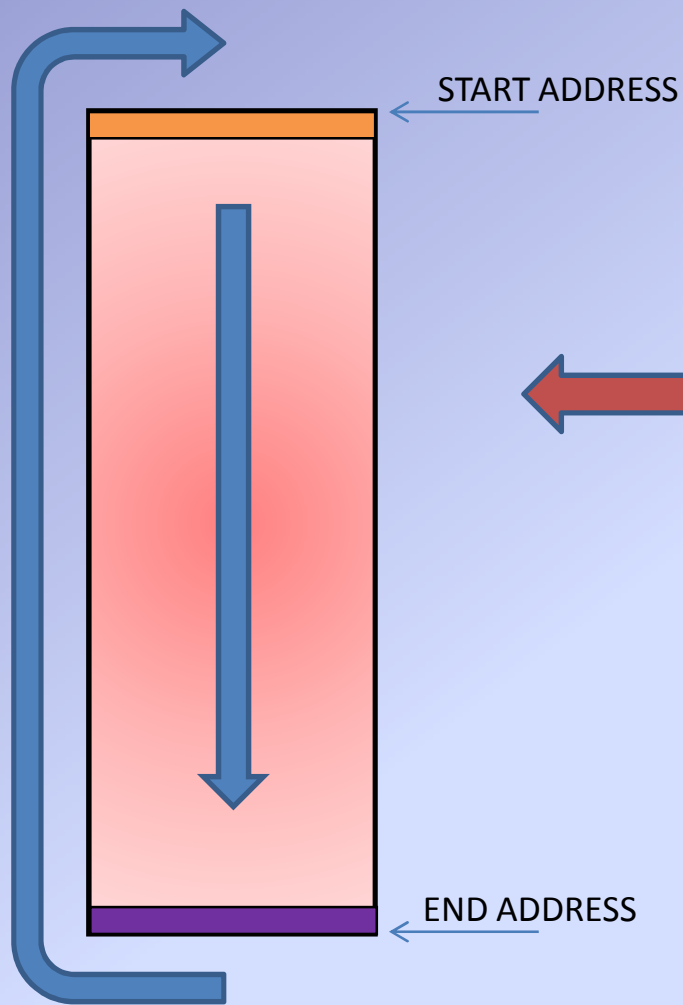


GESTIONE DELLA MEMORIA SRAM

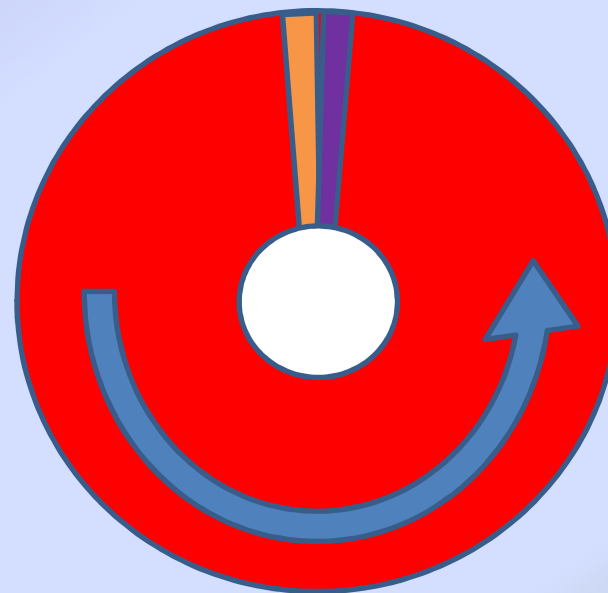


REALIZZAZIONE DELLA MEMORIA CIRCOLARE

Porzione di memoria SRAM dedicata alle Telemetrie



Memoria circolare di Telemetria



Salvataggio continuo dei dati tramite sovrascrittura di quelli meno recenti

EVENTI SEU SULLA MEMORIA CIRCOLARE

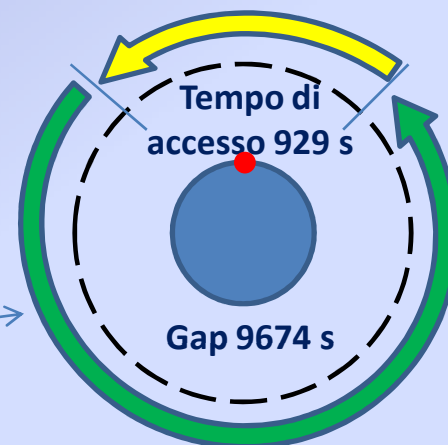
Valutazione della probabilità di errore ipotizzando gli eventi indipendenti

SEU error rate = 10^{-5} errori / giorno

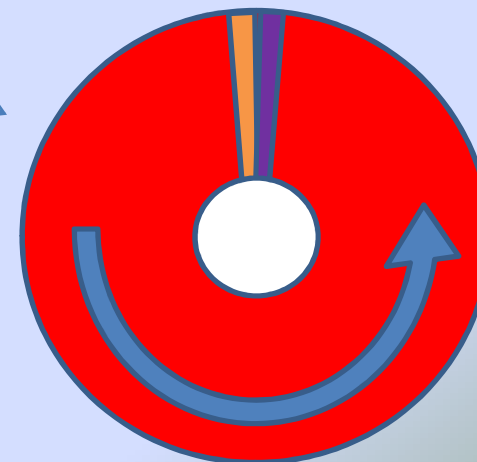
Bit Error Rate = 10^{-6} errori / Gap acquisizione

Probabilità che ci sia almeno un bit errato in memoria $Pe_{mem} = 0,9996$

Comunicazione bidirezionale



Acquisizione e salvataggio



CODIFICA DEI DATI IN MEMORIA CIRCOLARE

UTILIZZO DI UN CODICE A CORREZIONE D'ERRORE PER DIMINUIRE LA PROBABILITA' DI ERRORE IN MEMORIA CIRCOLARE

Codice Esteso di Hamming :

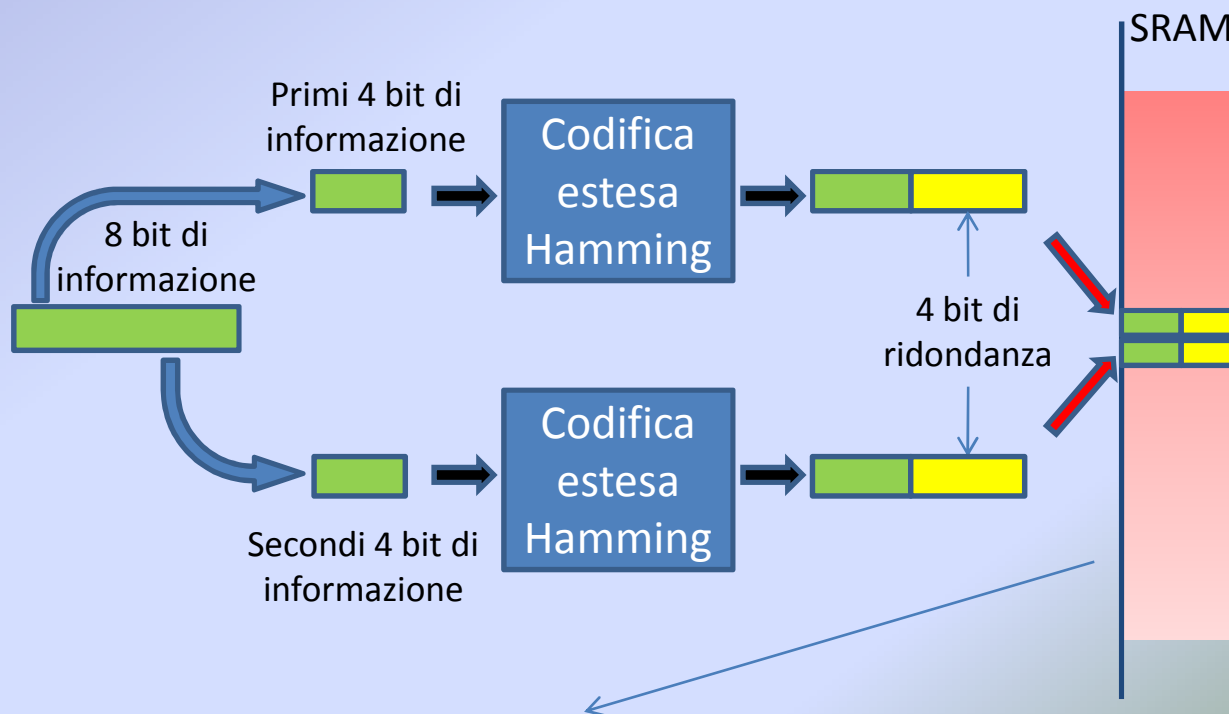
Tasso $\frac{1}{2}$ (n=8, k=4)

Corregge 1 bit errato ogni 4

Rivela gli errori pari

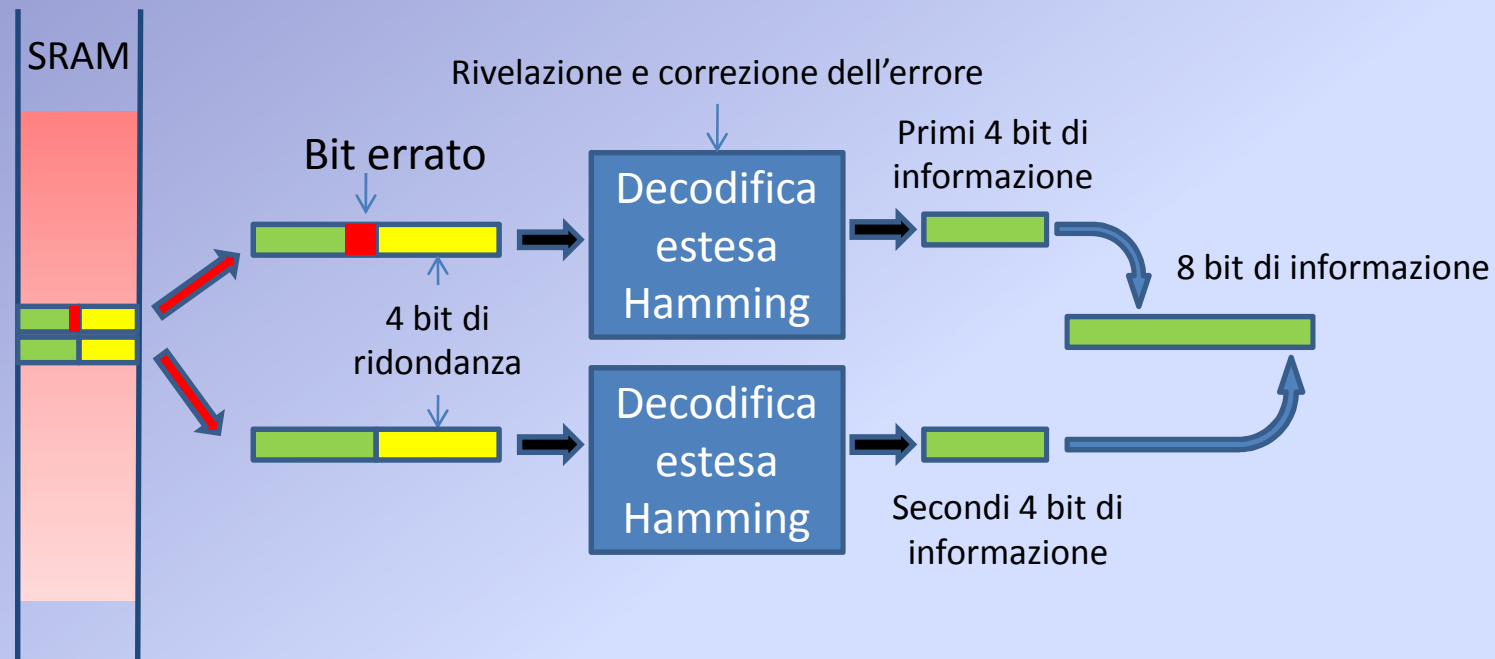
Facile implementazione in memorie ad 8 bit

Scarse necessità di calcolo in codifica e decodifica



Dimensione effettiva della memoria di telemetria: 982,165 Kbyte

DECODIFICA DEI DATI IN MEMORIA CIRCOLARE



	Senza codice	Con codice esteso di Hamming
Probabilità che il singolo byte venga alterato in un Gap	$Pe_{byte} \approx 7 \cdot 10^{-6}$	$Pe_{byte_Hamming} \approx 6 \cdot 10^{-17}$
Probabilità che almeno un byte venga alterato nella SRAM in un Gap	$Pe_{mem} \approx 0,9996$	$Pe_{mem_Hamming} \approx 0$

TRASMISSIONE DEI PACCHETTI DI TELEMETRIA

Miglioramento dell'affidabilità della comunicazione

Tecnica ARQ Stop and Wait

AtmoCube:

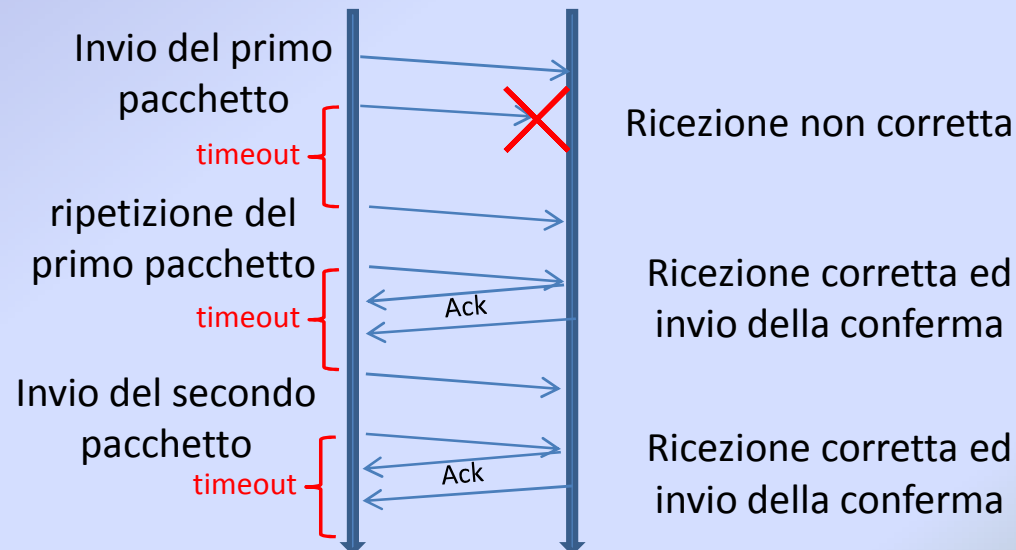
(down-link)

invio frame trasmissivi di 255 byte
contenenti pacchetti di telemetria

Stazione di Terra (GS):

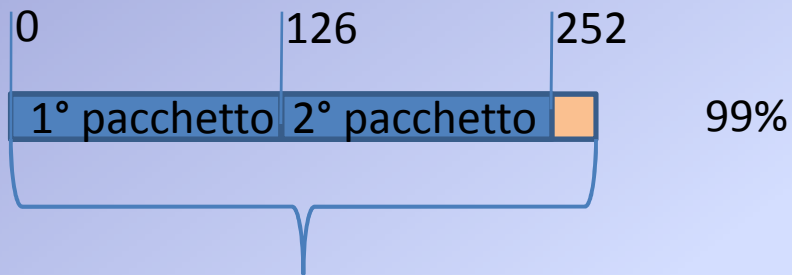
(up-link)

invio frame trasmissivi di 65 byte
conferma ultimi pacchetti di telemetria
ricevuti.



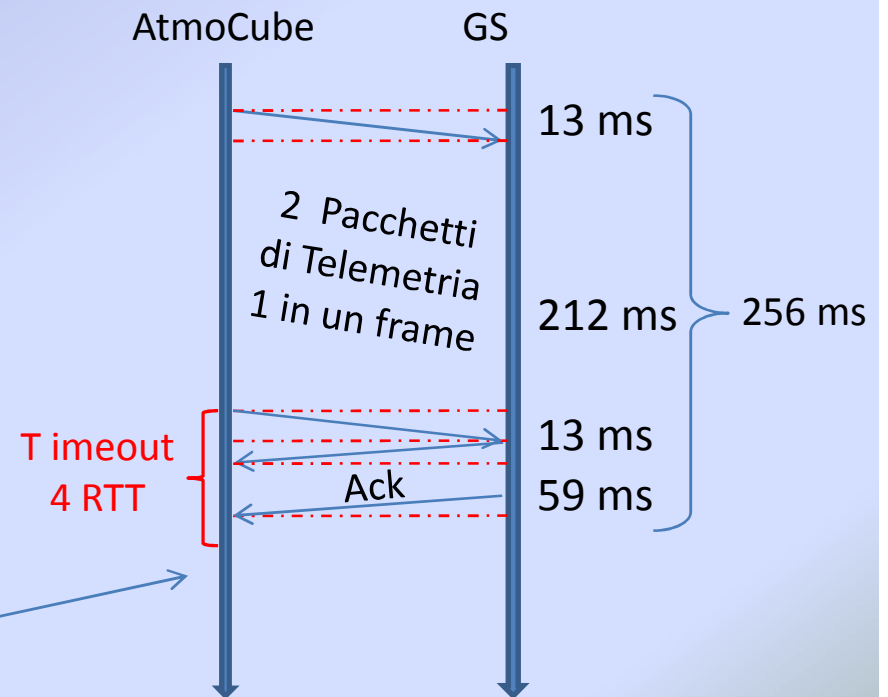
TRASMISSIONE DEI PACCHETTI DI TELEMETRIA 1

Trasmissione di 2 pacchetti di telemetria 1
in un unico frame di down-link



Payload frame: 255 byte

Unica conferma per due pacchetti di telemetria 1



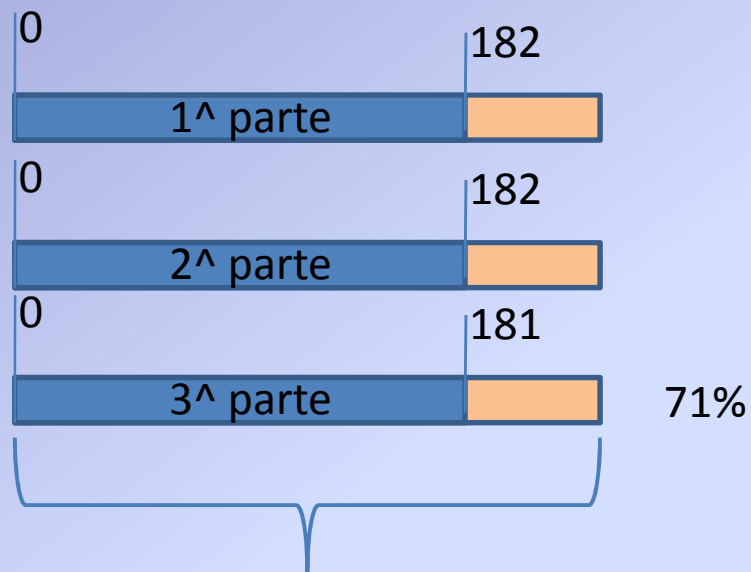
Max distanza AtmoCube – GS: 4000Km
Velocità di trasmissione: 10 Kbit/s

TRASMISSIONE DEI PACCHETTI DI TELEMETRIA 2

AtmoCube

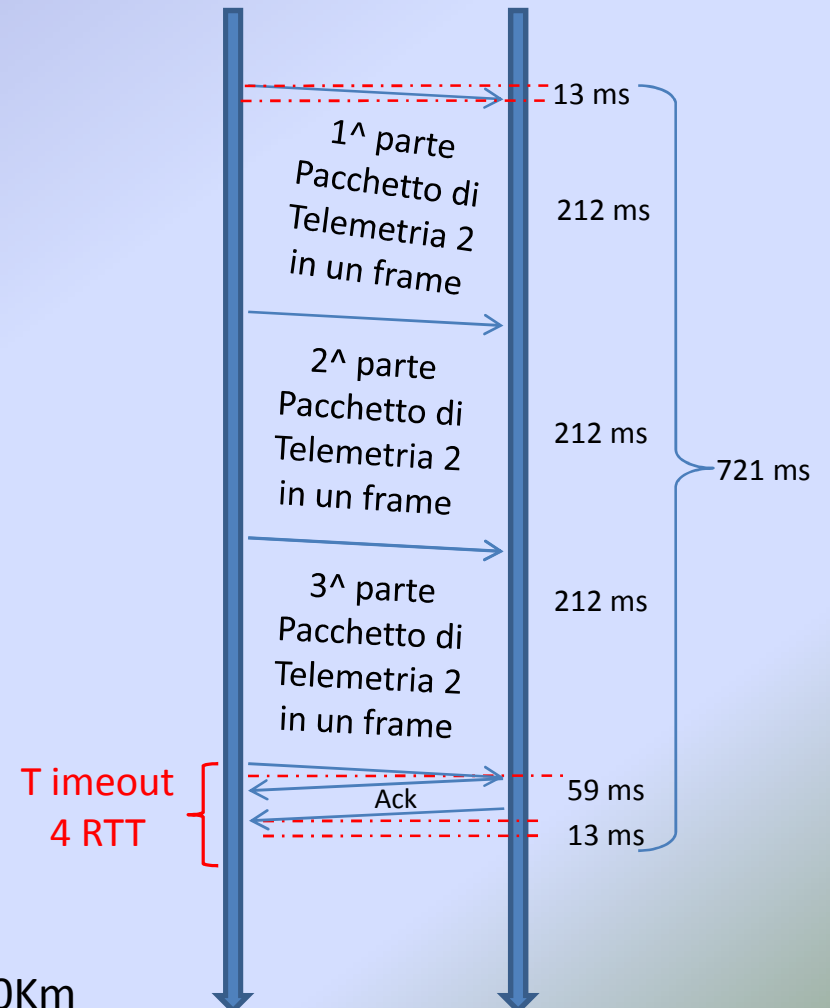
GS

Trasmissione di 1 pacchetto di telemetria 2
in 3 frame di down-link



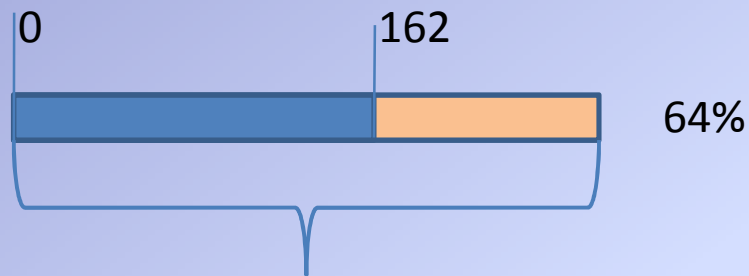
Payload frame: 255 byte

Max distanza AtmoCube – GS: 4000Km
Velocità di trasmissione: 10 Kbit/s

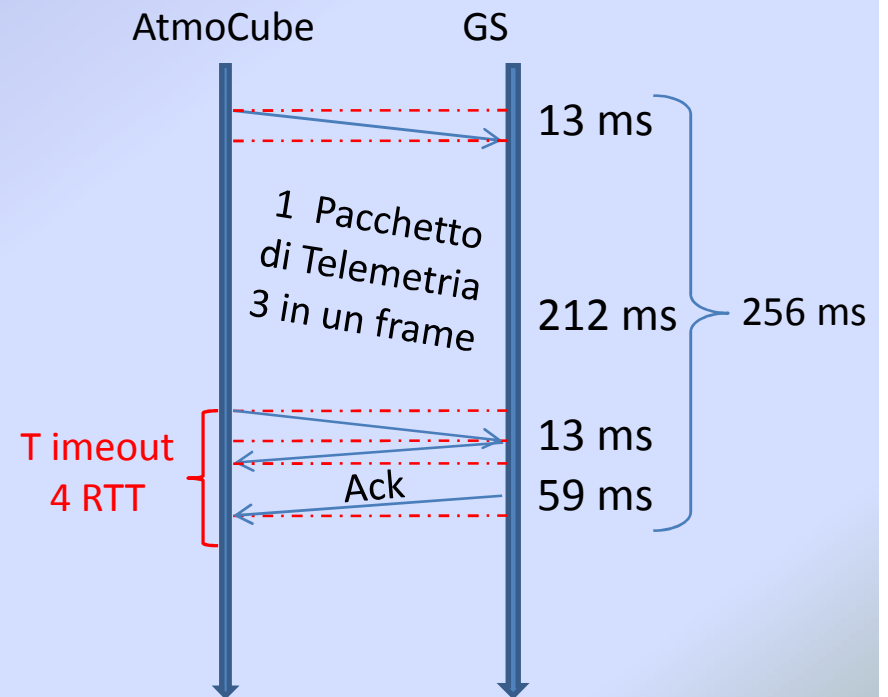


TRASMISSIONE DEI PACCHETTI DI TELEMETRIA 3

Trasmissione di 1 pacchetto di telemetria 3
in un frame di down-link



Payload frame: 255 byte



Max distanza AtmoCube – GS: 4000Km
Velocità di trasmissione: 10 Kbit/s

CALCOLO DEL THROUGHPUT

IPOTESI Worst Case:

- Distanza massima tra AtmoCube e GS (4000 Km)
- BER in down-link 10^{-6}
- Frame di up-link sempre ricevuto correttamente
- trasmissioni indipendenti

Probabilità di corretta ricezione del frame in down-link: $P_{CF}=0,99788$

3 Flussi informativi (uno per ogni pacchetto di telemetria):

3 Flussi informativi (uno per ogni pacchetto di telemetria):	P. Telemetria 1	P. Telemetria 2	P. Telemetria 3
Utilizzo del frame trasmissivo	99%	71%	64%
Frequenza di invio	73%	24%	3%
Byte di informazione	252	545	162
Tempo medio di trasmissione	≈317 ms	≈749 ms	≈317 ms
Throughput	6,36 Kbit/s	5,79 Kbit/s	4,10 Kbit/s

Throughput medio totale: 6,16 Kbit/s

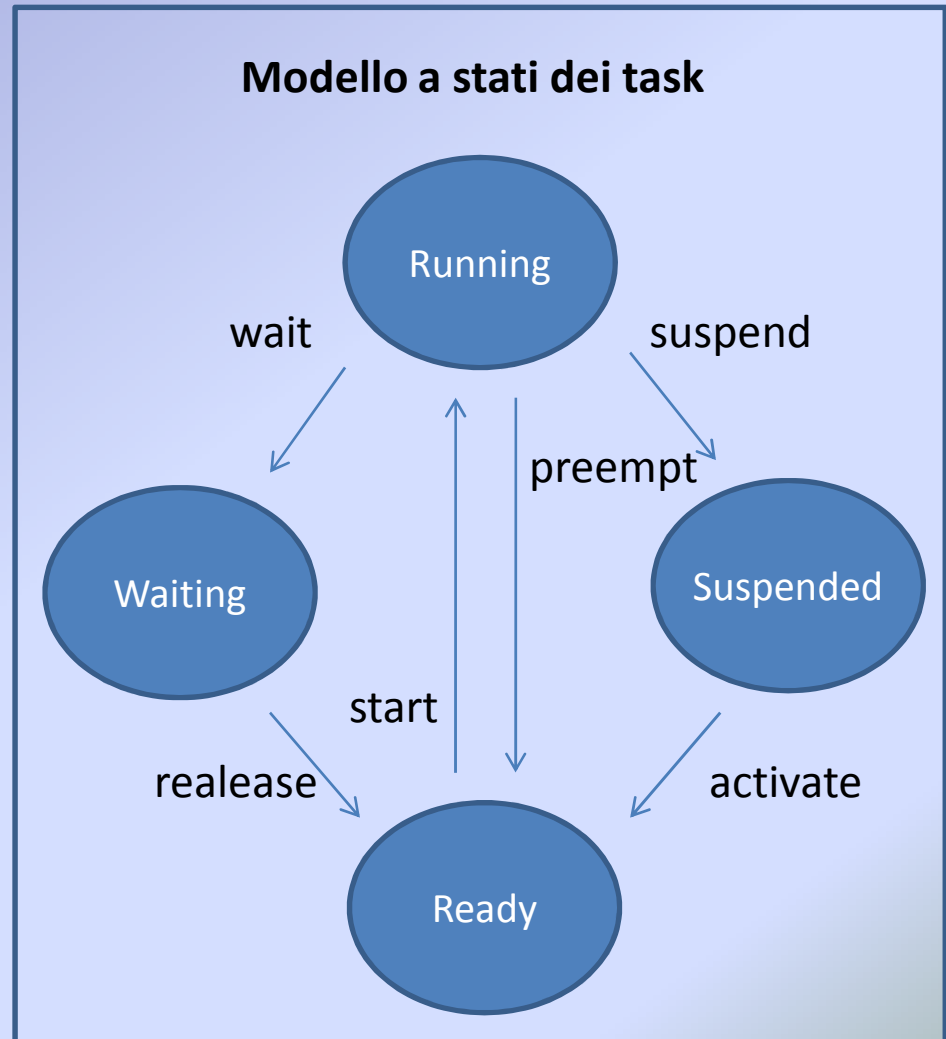
SISTEMA OPERATIVO PICOS18

Caratteristiche

- Open Source (Licenza GPL
General Public License)
- Microcontrollori PIC18
- OSEK/VDX (standard automotive)
- Real - Time
- Multi – Tasking di tipo Pre – emptive
- Gestione di processi, allarmi, eventi, interruzioni.

Stati logici dei task

- Running: in esecuzione
- Ready: in attesa di essere eseguito
- Waiting: in attesa di un evento
- Suspended: non attivo



I TASK PER ATMOCUBE

Task power

- controllo della **carica di batteria**
- **sospensione operazioni** in caso di scarica

Task Idle

- **mantenimento** del sistema in stato di **sospensione**

Task radio

- **decodifica** dei pacchetti di telemetria
- **gestione** della **OBR** (On Board Radio)
- **ricezione** dei **comandi** provenienti dalla GS
- trasmissione **Stop and Wait** dei pacchetti di telemetria
- **trasmissione** dei **dati** di **diagnostica**

Task measure

- **misure** scientifiche
- raccolta **informazioni** di **sistema**
- **codifica** dei **pacchetti** di telemetria
- gestione memoria **SRAM**
- gestione **GPS**

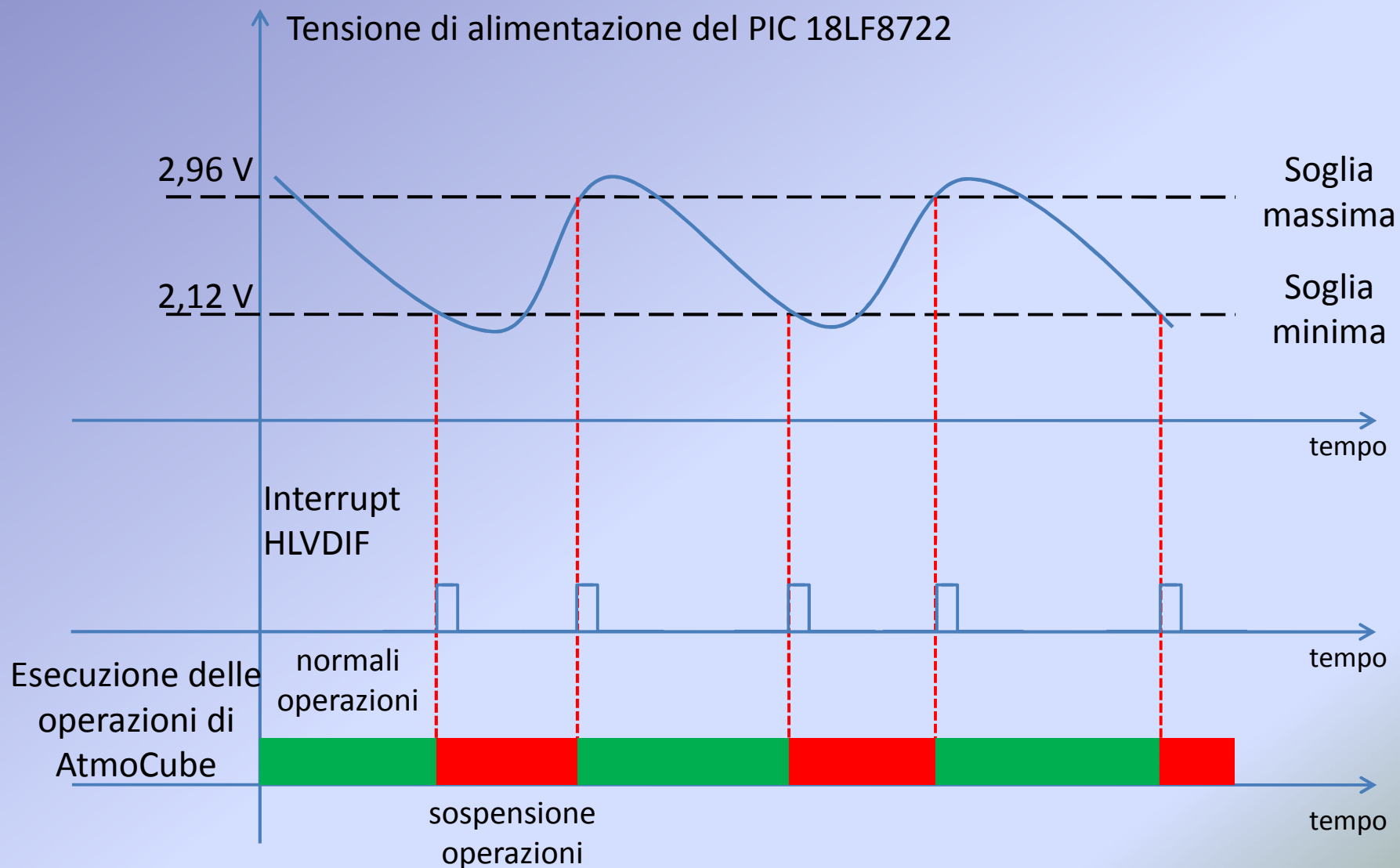
Task system

- **operazioni preliminari** (Start Phase)
- **monitoraggio** altri task

Task watchdog

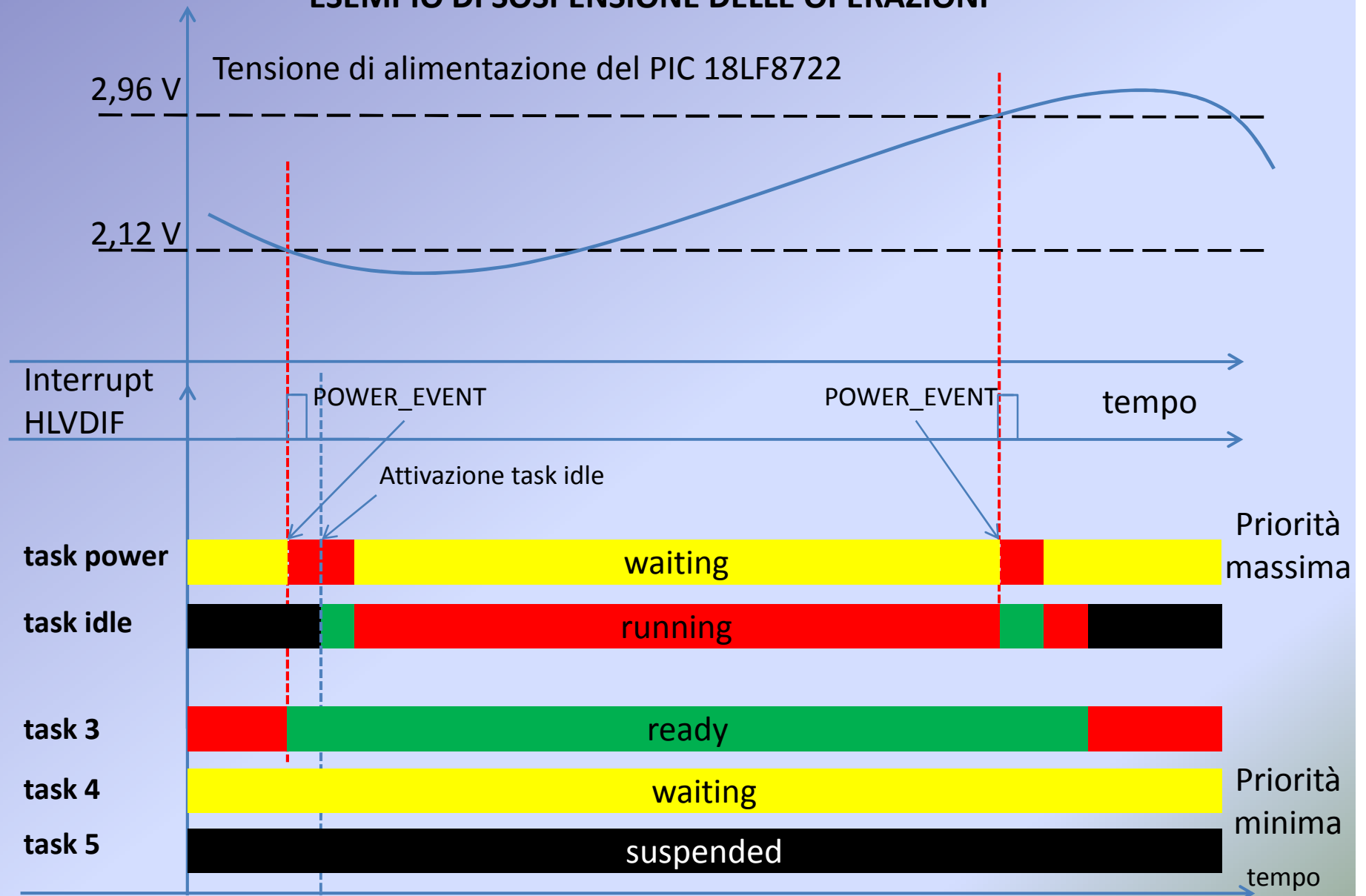
- azzeramento del **watchdog timer**

GESTIONE DELLA CARICA



GESTIONE DELLA CARICA

ESEMPIO DI SOSPENSIONE DELLE OPERAZIONI



CONCLUSIONI

E' stato realizzato un sistema completo per la gestione del satellite Atmocube su tecnologia commerciale a basso costo capace di:

- **sincronizzare e acquisire le misure** scientifiche
- **contrastare eventi SEU** (codifica estesa di Hamming)
- **trasmettere dati con ARQ Stop and Wait**
- ricevere **comandi da Terra**
- effettuare una **comunicazione unidirezionale** (in caso di malfunzionamento)
- ottenere un valore di **Throughput** tale da poter trasferire **l'intera memoria** in una **finestra di accesso media**

CONCLUSIONI

Test di funzionamento del codice

- gestione corretta dei task (pre-emption, priorità)
- gestione degli interrupt (esecuzione delle ISR)
- salvataggio dei dati in memoria (prove di salvataggio dati tramite codifica e decodifica estesa di Hamming)
- acquisizione dati dal magnetometro (prove di misurazioni del campo magnetico)

SVILUPPI FUTURI

Test di operatività

- gestione della **OBR**
- gestione del **GPS**
- gestione **spettro - dosimetro**

Test di comunicazione con la GS

- ricezione ed esecuzione **comandi**
- comunicazione **ARQ**

**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**