

Supervisori

Febbraio 2026

Contents

1	Acquisizione segnali Board 2	3
1.1	HC-SR04 - Sensore ad ultrasuoni	3
2	Funzionamento generale di ciascuna board	5
2.1	Interazione tra Task e Meccanismo di Snapshot	5
3	Supervisore Board 2	6
3.1	Panoramica generale	6
3.2	Input	8
3.3	Output	8
3.4	Rilevamento ostacoli	8
3.4.1	Gestione ostacoli con sistema in stato <i>non degradato</i>	9
3.4.2	Gestione ostacoli con sistema in stato <i>degradato</i>	12
4	Supervisore Board 1	12
4.1	Panoramica generale	12
4.2	Input	13
4.3	Output	15
4.4	Gestione Faults	16
4.5	Decidere di far comandare la Board2	19
4.6	Costruzione maschere degradate e critiche	21
4.7	Calcolo riferimenti	22

1 Acquisizione segnali Board 2

1.1 HC-SR04 - Sensore ad ultrasuoni

La Board 2 è equipaggiata con tre sensori ad ultrasuoni **HC-SR04** per il rilevamento di ostacoli. Questi sono disposti a 45° l'uno dall'altro, come mostrato in Figura 1.

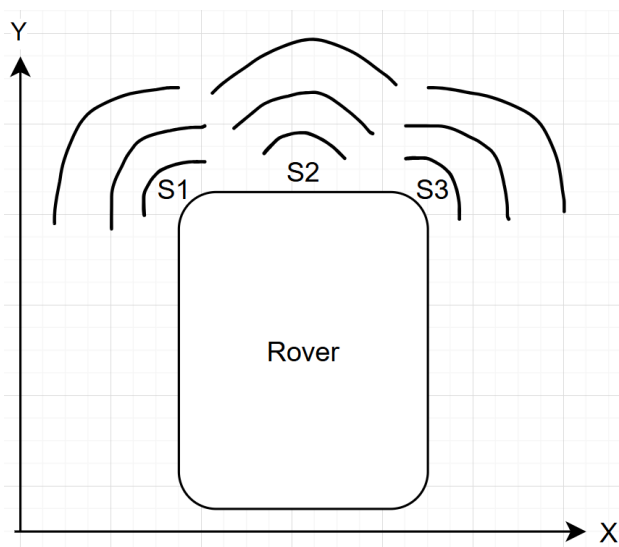


Figure 1: Disposizione dei sensori sulla Board 2.

Ogni sensore emette onde sonore ad alta frequenza e produce segnali di tipo onda quadra la cui durata è proporzionale all'ostacolo rilevato.

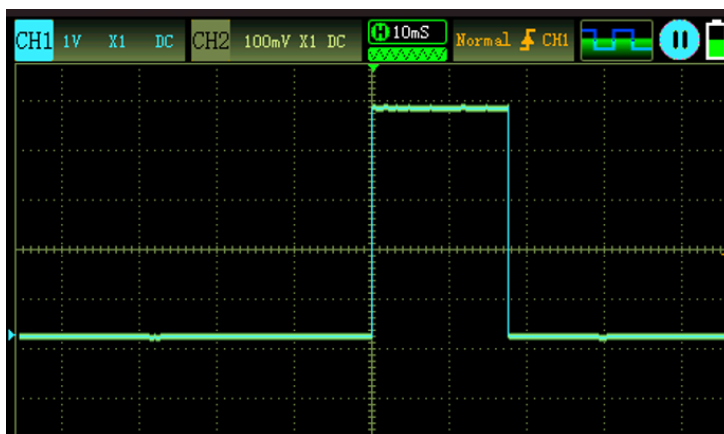


Figure 2: Segnale generato dal sensore HC-SR04 in presenza di un ostacolo a 3 metri di distanza.

La board2, rilevando i fronti di salita e discesa, può misurare l'intervallo tra i due fronti e utilizzare questa informazione per calcolare la distanza dall'ostacolo e prendere decisioni appropriate per evitare collisioni.

Utilizzo DMA per la lettura dei segnali

Per ottimizzare la lettura dei segnali dai sensori ad ultrasuoni, la Board 2 utilizza il Direct Memory Access (DMA). Il DMA consente di trasferire i dati direttamente tra la periferica (i sensori ad ultrasuoni) e la memoria, senza l'intervento della CPU. Il timer utilizzato è il *Timer1*, con i canali 1, 2 e 3 configurati in modalità *input capture* per catturare i fronti di salita e discesa generati dai tre sensori.

DMA Request	Channel	Direction	Priority
TIM1_CH1	DMA1 Channel 1	Peripheral To Memory	Low
TIM1_CH2	DMA1 Channel 2	Peripheral To Memory	Low
TIM1_CH3	DMA1 Channel 3	Peripheral To Memory	Low

Add Delete

DMA Request Settings

Mode: Circular

Increment Address: ☐

Data Width: Half Word (Peripheral), Half Word (Memory)

DMA Request Synchronization Settings

Enable synchronization: ☐

Synchronization signal: [Dropdown]

Signal polarity: [Dropdown]

Enable event: ☐

Request number: [Input]

Figure 3: Configurazione del DMA per la lettura dei segnali dai sensori.

Ogni canale del DMA è configurato in modalità interrupt, permettendo, alla fine della rilevazione dei due fronti (salita e discesa), di eseguire una *Callback* che imposta dei flag a 1. Questo flag indica che i fronti sono stati rilevati e che la distanza dall'ostacolo può essere calcolata. In totale vengono eseguite solo 3 callback, attivate solo quando uno specifico canale DMA ha terminato la lettura di entrambi i fronti. La Figura 4 mostra un esempio di callback eseguita al termine della rilevazione dei fronti.

```

void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
    BaseType_t xHigherPriorityTaskWoken = pdFALSE;

    if(htim->Instance == TIM1){
        switch(htim->Channel){
            case HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_1:
                if(flag.sonar1_ok == 0){
                    flag.sonar1_ok = 1;
                    sonar_count ++;
                }
                break;
            case HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_2:
                if(flag.sonar2_ok == 0){
                    flag.sonar2_ok = 1;
                    sonar_count ++;
                }
                break;
            case HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_3:
                if(flag.sonar3_ok == 0){
                    flag.sonar3_ok = 1;
                    sonar_count ++;
                }
                break;
            default:
                break;
        }
    }

    if (sonar_count >= 3) {
        // Notifica il task e richiedi uno switch immediato se necessario
        xTaskNotifyFromISR(sonarTaskHandle, 0, eNoAction, &xHigherPriorityTaskWoken);
        portYIELD_FROM_ISR(xHigherPriorityTaskWoken);
    }
}

```

Figure 4: Callback eseguita al termine della rilevazione dei fronti.

2 Funzionamento generale di ciascuna board

2.1 Interazione tra Task e Meccanismo di Snapshot

Ciascuna board gestisce sette task, ognuno dei quali attinge, secondo necessità, alle informazioni richieste dalla propria logica di controllo tramite gli snapshot, ovvero variabili globali condivise. Nello specifico, la Figura 5 illustra il funzionamento dei task *SupervisorB1* e *Transmit*. Al termine della propria esecuzione, ogni task può aggiornare tali snapshot, rendendo i nuovi dati disponibili agli altri processi. Ad esempio, il task *SupervisorB1* aggiorna lo snapshot **supervisor_snapshot**, che viene poi utilizzato dal task *Transmit* per l'invio dei dati verso la Board2.

Ogni snapshot integra, oltre ai dati specifici, due variabili di monitoraggio temporale:

- *data_last_valid_ms*: indica l'istante temporale dell'ultimo aggiornamento dei dati ritenuto valido (ad esempio, l'ultima lettura coerente ricevuta dagli encoder).
- *task_last_run_ms*: riporta l'ultimo istante in cui il task responsabile dell'aggiornamento è stato effettivamente eseguito.

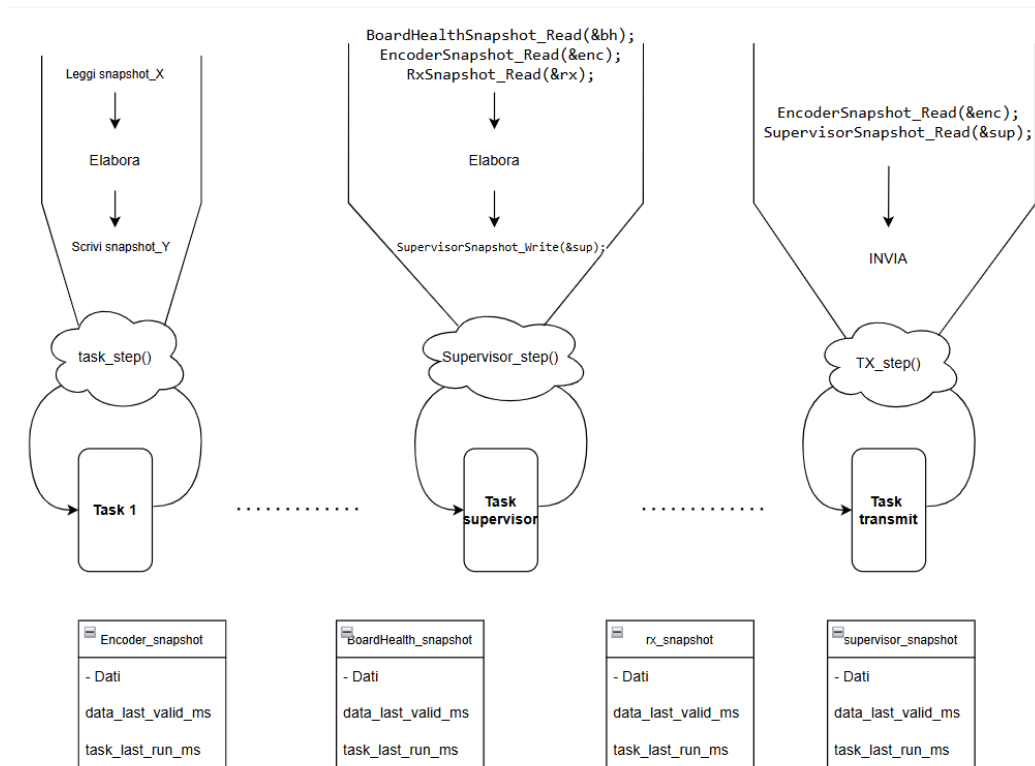


Figure 5: Funzionamento generale del software di Board 1.

3 Supervisore Board 2

3.1 Panoramica generale

Il supervisore della Board 2 è implementato come un modulo Simulink denominato **SupervisorB2**, il cui schema a blocchi è illustrato in Figura 6.

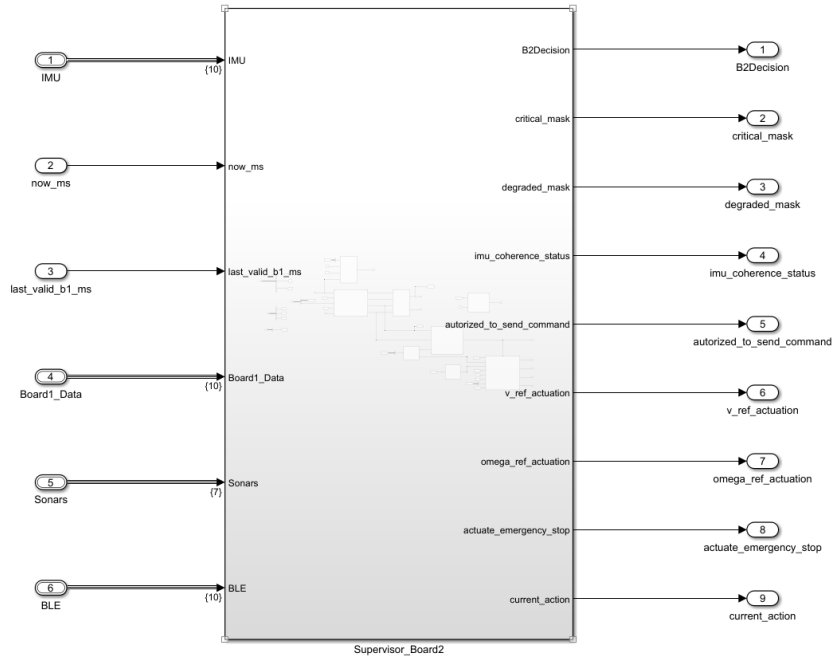


Figure 6: Schema a blocchi del modulo SupervisorB2.

Il suo compito è quello di decidere il riferimento di velocità (v_{ref}) e di direzione (ω_{ref}) del rover, in funzione dell'elaborazione dei dati di input. In particolare, esso è composto da 3 parti principali:

- **Gestione Faults:** si occupa di rilevare e gestire eventuali anomalie nei dati ricevuti dalla Board2, dagli encoder delle ruote, dai sensori di temperatura e batteria.
- **Decidere di far comandare la Board2:** decide se autorizzare o meno la Board2 a muovere il rover, in base alle condizioni di fault rilevate.
- **Aggregazione Fault:** aggrega le anomalie rilevate nella parte di gestione faults e le codifica in due maschere di errore (critica e degradata).
- **Calcolo Riferimenti:** calcola i riferimenti di velocità lineare e angolare del rover in base ai comandi ricevuti dalla Board2 e alle condizioni di fault rilevate.

Nel seguito verranno descritti i segnali di input e output del supervisore, successivamente verranno descritte le tre parti principali del supervisore descritte sopra.

3.2 Input

I segnali in input che riceve sono:

3.3 Output

I segnali in output che fornisce sono:

3.4 Rilevamento ostacoli

Come da specifiche, il comportamento del rover in presenza di ostacoli, deve essere regolato sulla base delle condizioni in cui può trovarsi:

1. *Stato non degradato*

- **Distanza dell'ostacolo ≤ 70 cm:** il rover deve fermarsi immediatamente per evitare collisioni.
- **Ostacolo a distanza > 100 cm in movimento tra due sonar:** il rover deve determinare la direzione dell'ostacolo e deve deviare il percorso di conseguenza in direzione del sonar che per prima ha rilevato l'ostacolo.

2. *Stato degradato*

- **Distanza dell'ostacolo ≤ 300 cm:** il rover deve fermarsi immediatamente per evitare collisioni.

In seguito verranno mostrati i chart realizzati per la gestione delle due casistiche.

3.4.1 Gestione ostacoli con sistema in stato *non degradato*

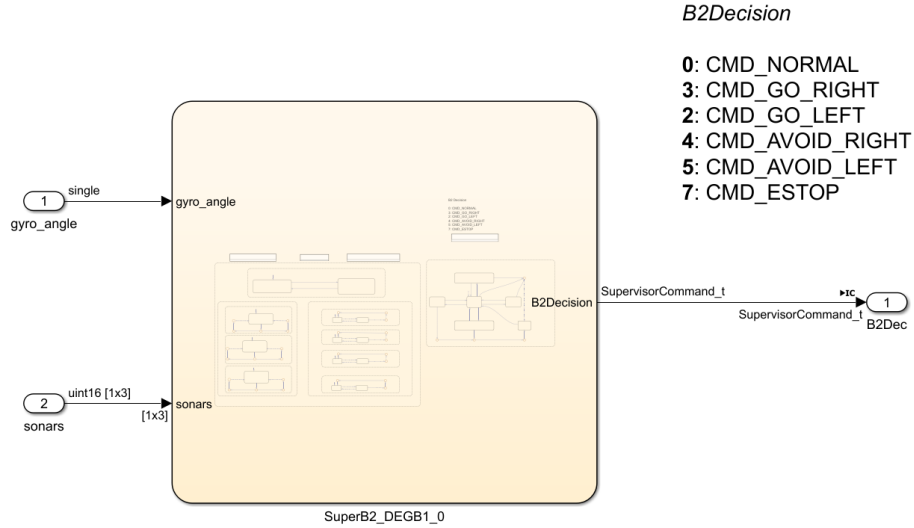


Figure 7: Logica di gestione degli ostacoli in stato non degradato.

Il chart per la gestione degli ostacoli in stato non degradato è mostrato in Figura 8.

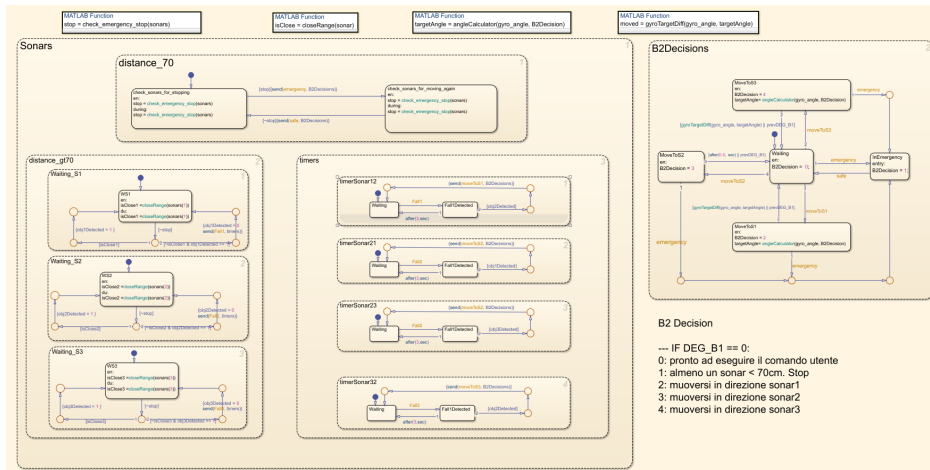
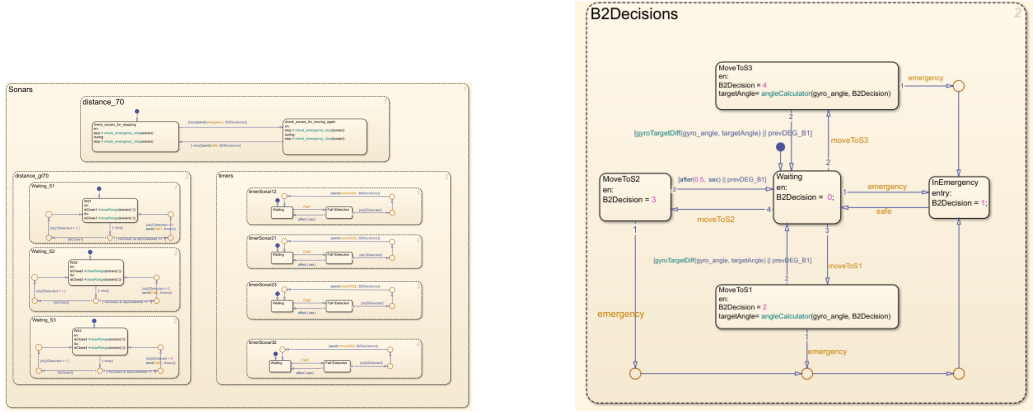


Figure 8: Chart di gestione ostacoli in stato non degradato.

In particolare, il chart è composto da 2 stati paralleli: *Sonars* e *B2Decisione*

1. **B2Decisions**: Lo stato parallelo *B2Decisione* è dipendente dallo stato *Sonars* in quanto le sue transizioni vengono attivate da segnali provenienti da *Sonars*. In base ai segnali ricevuti, è capace di settare la



(a) Stato parallelo Sonars

(b) Stato parallelo B2Decisione

Figure 9: Stati paralleli del chart in stato non degradato.

variabile di output del chart, variabile che indica la decisione presa dal supervisore. Quindi, in questo stato si determina l'output del chart, che è un numero che varia da 0 a 4. Le azioni possibili includono l'arresto immediato del rover o la deviazione del percorso in base alla posizione dell'ostacolo. In quest'ultimo caso, la deviazione dura fintanto che il rover non ruota di 45° rispetto alla direzione iniziale, verso la direzione del sonar che per primo ha rilevato l'ostacolo.

2. **Sonars**: All'interno di questo stato parallelo sono presenti altri 3 stati paralleli.

(a) **distance_70**: Rappresenta la condizione in cui uno dei sonar rileva un ostacolo a una distanza ≤ 70 cm.

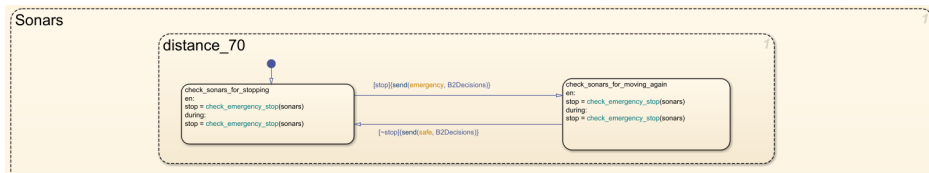


Figure 10: Stato parallelo per la gestione di un ostacolo a distanza ≤ 70 cm.

In questo stato quando uno dei sonar rileva un ostacolo a una distanza inferiore o uguale a 70 cm, viene attivata una transizione che porta allo stato di arresto immediato del rover. In particolare, quando un sonar rileva la presenza di un ostacolo a distanza ≤ 70 cm, viene inviato un segnale **Emergency** allo stato parallelo *B2Decisione* per fermare il rover. B2Decisione utilizza questo

segnale per portarsi nello stato in cui l'output del chart prevede lo stop.

(b) ***distance_gt70* —- *timers***: Questi due stati insieme permettono il rilevamento di un ostacolo in movimento tra le coppie di sonar

- *S1-S2* (tra sonar di sinistra e sonar centrale)
- *S2-S1* (tra sonar centrale e sonar di sinistra)
- *S2-S3* (tra sonar centrale e sonar di destra)
- *S3-S2* (tra sonar di destra e sonar centrale)

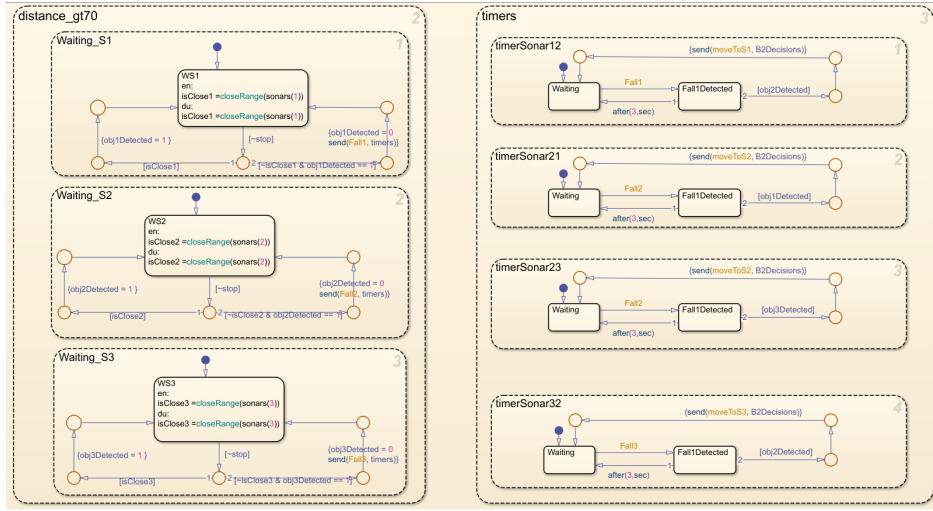


Figure 11: Stato parallelo per la gestione di un ostacolo in movimento a distanza > 70 cm.

Nello stato *distance_gt70* sono presenti 3 stati paralleli, *Waiting_S1*, *Waiting_S2*, *Waiting_S3*, uno per ogni sonar.

Di seguito si analizza la dinamica di rilevamento di un ostacolo che si sposta dal sonar *S1* verso il sonar *S2*. Tale logica è da considerarsi valida per ogni coppia di sensori precedentemente elencata. Si assume, come condizione necessaria, l'assenza di ostacoli a una distanza inferiore a 70 cm; in caso contrario, il sistema non procederebbe al rilevamento di oggetti in movimento.

- Attivazione (*S1*):** Quando il sonar *S1* rileva un oggetto entro il range 100–300 cm, la variabile *obj1Detected* viene impostata a 1 (**fronte di salita**).
- Transizione e Timing:** Nel momento in cui l'oggetto esce dal campo d'azione di *S1*, la variabile *obj1Detected* torna a 0

(**fronte di discesa**). Contestualmente, lo stato timerSonar12 del modulo timers avvia un conteggio di 3 secondi.

- iii. **Verifica ($S2$)**: Se il sonar $S2$ rileva l'ostacolo (sempre tra 100 e 300 cm) entro la finestra temporale dei 3 secondi, viene inviato il segnale *moveToS1* allo stato parallelo *B2Decision*. Qualora il timer scada senza alcun rilevamento da parte di $S2$, non viene trasmesso alcun segnale.

3.4.2 Gestione ostacoli con sistema in stato *degradato*

Il chart per la gestione degli ostacoli in stato degradato è mostrato in Figura 12.

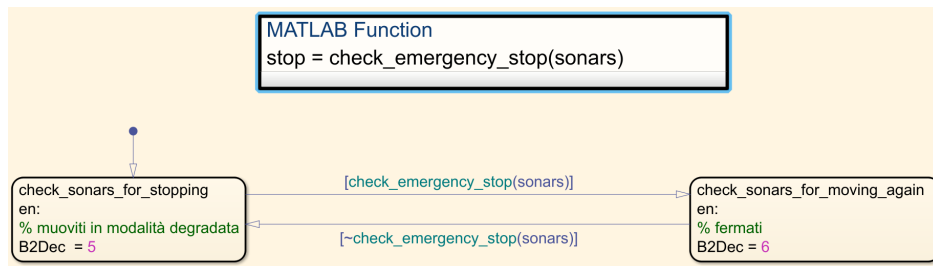


Figure 12: Chart di gestione ostacoli in stato degradato.

In questo caso, la logica di gestione degli ostacoli è semplificata rispetto allo stato non degradato. Infatti, l'unica condizione considerata è la presenza di un ostacolo a una distanza inferiore o uguale a 300 cm. Quando uno dei sonar rileva un ostacolo entro questo range, viene attivata una transizione che porta l'uscita del supervisore all'arresto immediato del rover.

4 Supervisore Board 1

4.1 Panoramica generale

Il supervisore della Board 1 è implementato come un modulo Simulink denominato **SupervisorB1**, il cui schema a blocchi è illustrato in Figura 13.

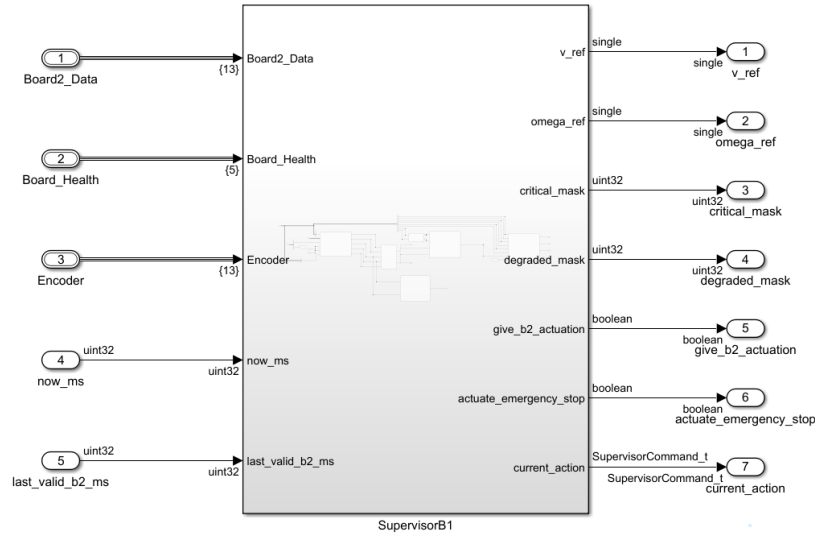


Figure 13: Schema a blocchi del modulo SupervisorB1.

Il suo compito è quello di decidere il riferimento di velocità (v_{ref}) e di direzione (ω_{ref}) del rover, in funzione dell'elaborazione dei dati di input. In particolare, esso è composto da 3 parti principali:

- **Gestione Faults:** si occupa di rilevare e gestire eventuali anomalie nei dati ricevuti dalla Board2, dagli encoder delle ruote, dai sensori di temperatura e batteria.
- **Decidere di far comandare la Board2:** decide se autorizzare o meno la Board2 a muovere il rover, in base alle condizioni di fault rilevate.
- **Aggregazione Fault:** aggrega le anomalie rilevate nella parte di gestione faults e le codifica in due maschere di errore (critica e degradata).
- **Calcolo Riferimenti:** calcola i riferimenti di velocità lineare e angolare del rover in base ai comandi ricevuti dalla Board2 e alle condizioni di fault rilevate.

Nel seguito verranno descritti i segnali di input e output del supervisore, successivamente verranno descritte le tre parti principali del supervisore descritte sopra.

4.2 Input

I segnali in input che riceve sono:

- **Board2_Data:** rappresenta i dati provenienti dalla Board2. Quelli utilizzati dal supervisore sono:
 - *command*: rappresenta il comando in uscita dal supervisore della Board2, che può assumere i seguenti valori:

```
typedef enum
{
    CMD_NORMAL = 0,
    CMD_ROTATE_180,
    CMD_GO_LEFT,
    CMD_GO_RIGHT,
    CMD_AVOID_RIGHT,
    CMD_AVOID_LEFT,
    CMD_STOP,
    CMD_ESTOP
} SupervisorCommand_t;
```

Figure 14: Comandi in uscita dal supervisore della Board2.

- *x_norm* & *y_norm*: rappresenta il comando utente proveniente dal joystick.
- *yaw*: rappresenta l'angolo di orientamento del rover, calcolato a partire dai dati provenienti dalla Board2.
- *imu_cohearence_status*: rappresenta la coerenza dei dati ricevuti dal sensore IMU, utile a rilevare motor fault.
- *critical_mask* & *degraded_mask*: sono due maschere di errore a 8 bit, in cui ogni bit indica la presenza di un'anomalia *critica* (da cui *critical_mask*) o *degradata* (da cui *degraded_mask*) specifica.
- **Board_Health:** rappresenta lo stato della Board1. La struttura dati è la seguente:

```
typedef struct
{
    float temperature_degC;
    float battery_pct;

    uint32_t task_last_run_ms;    /* ultima esecuzione del task */

    uint32_t temp_last_valid_ms;
    uint32_t batt_last_valid_ms;
} BoardHealthSnapshot_t;
```

Figure 15: Struttura dati Board_Health.

- **Encoder**: rappresenta i dati provenienti dagli encoder delle ruote del rover. La struttura dati è la seguente:

```

typedef struct
{
    float wheel_speed_rpm[4];
    bool hasNoFeedback[4]; // indica se c'è corrispondenza tra comando e lettura encoder.
                           // (è Vero se la lettura encoder restituisce 0 rpm in presenza
                           // di un comando di velocità valido)

    uint32_t task_last_run_ms; // ultima esecuzione del task */
    uint32_t data_last_valid_ms[4]; // ultimo istante in cui i dati acquisiti sono validi
                                   // (uno per ogni encoder) */
} EncoderSnapshot_t;

```

Figure 16: Struttura dati Encoder.

- **now_ms**: Rappresenta il tempo corrente in millisecondi.
- **last_valid_b2_ms**: Rappresenta il tempo in millisecondi dell'ultimo dato valido ricevuto dalla Board2.

4.3 Output

I segnali in output che fornisce sono:

- **v_ref**: rappresenta il riferimento di velocità lineare del rover, in m/s.
- **omega_ref**: rappresenta il riferimento di velocità angolare del rover, in rad/s.
- **critical_mask & degraded_mask**: sono due maschere di errore a 8 bit, in cui ogni bit indica la presenza di un'anomalia *critica* (da cui critical_mask) o *degradata* (da cui degraded_mask) specifica, come descritto nella Tabella 1.

Bit	ID Segnale	Descrizione dell'Anomalia
0	TEMP_CRI/DEG	Errore termico (Logica predittiva)
1	BATT_CRI/DEG	Tensione batteria sotto soglia minima
2	COMM_CRI/DEG	Errore ricezione Board-to-Board
3-6	WHEEL_CRI/DEG	Guasti attuatori (FL, FR, RL, RR)
7	SUP_CRI/DEG	Timeout comunicazione Supervisore B2

Table 1: Mappatura della maschera di errore a 8 bit

- **give_b2_actuation**: rappresenta un segnale booleano che indica se la Board2 deve essere autorizzata a muovere il rover.

- **actuate_emergency_stop**: rappresenta un segnale booleano che indica se il rover deve essere fermato immediatamente per evitare collisioni.
- **current_action**: rappresenta un segnale che indica l'azione attualmente intrapresa dal supervisore.

4.4 Gestione Faults

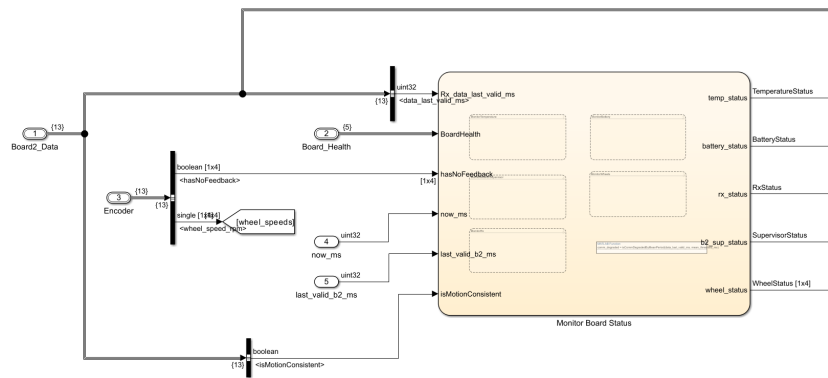


Figure 17: Chart di gestione dei faults.

L'output di questo sottosistema è rappresentato da 5 segnali, ognuno dei quali indica la presenza o meno di un'anomalia *critica* o *degradata* specifica proveniente dalla lettura degli encoder, batteria, temperatura e comunicazione con la Board2. Di seguito si descrivono i valori che questi segnali possono assumere e le condizioni che portano a tali valori.

Table 2: Stati degradato e critico per Board 1

OUTPUT	VALORE	SIGNIFICATO
temp_status	TEMP_HEALTH_DEGRADED	Quando la temperatura è nel range $] - 15; -5] \cup [55; +60[$

OUTPUT	VALORE	SIGNIFICATO
batt_status	TEMP_HEALTH_CRITICAL	<ul style="list-style-type: none"> • Quando la temperatura è per almeno 4s nel range $] - \infty; -15] \cup [60; +\infty[$ • Nel caso in cui l'intervallo di tempo dall'ultimo aggiornamento della temperatura è di 0.5s, si ipotizza che la temperatura aumenti di 1 °C/s. Se questa sale raggiungendo un valore superiore a 65 °C/s si ha questo valore.
	TEMP_HEALTH_OK	Quando la temperatura è nel range $] - 5; 55[$
	BATT_HEALTH_DEGRADED	Quando la percentuale di batteria è minore del 23%
	BATT_HEALTH_CRITICAL	<ul style="list-style-type: none"> • Quando la temperatura è per almeno 5s nel range $[0\%; 15\%]$ • Nel caso in cui l'intervallo di tempo dall'ultimo aggiornamento della percentuale batteria è di 0.5s, si ipotizza che la percentuale diminuisca di 0.42%/s. Se questa diminuisce raggiungendo un valore minore a 15% si ha questo valore.
	BATT_HEALTH_OK	Quando la percentuale è $> 25\%$

OUTPUT	VALORE	SIGNIFICATO
wheel_status(i)	WHEEL_DEGRADED_ENCODER	Quando viene dato un riferimento di velocità ma gli rpm sono nulli per un certo periodo di tempo, infatti per impostare questo valore si considera anche l'inerzia delle ruote. Questa condizione è rilevata da <i>has_no_feedback(i)</i> .
	WHEEL_CRITICAL_MOTOR	Quando alla condizione degradata si aggiunge un'incoerenza del sensore IMU.
	WHEEL_OK	Quando non ci sono né condizioni critiche né degradate, imposta questo valore.
b2_sup_status	SUP_DEGRADED	Questo valore indica una discontinuità operativa della Board 2. Il supervisore della Board 1 monitora l'heartbeat del supervisore remoto, il quale incrementa il valore ogni volta che viene eseguito. Se la media degli ultimi 10 intervalli di aggiornamento superi i 40 ms, il sistema segnala uno stato di degrado del supervisore di Board 2.
	SUP_CRITICAL	Se l'intervallo di tempo dall'ultimo aggiornamento dell'heartbeat del supervisore di Board2 supera i 120 ms, imposta questo valore.

OUTPUT	VALORE	SIGNIFICATO
	SUP_OK	Quando non ci sono ne condizioni critiche ne degradate imposta questo valore.
rx_status	RX_DEGRADED	Questo valore identifica una comunicazione instabile. Sebbene il collegamento fisico sia attivo, fattori quali errori di checksum (CRC) o anomalie nella lunghezza dei pacchetti impediscono l'aggiornamento della variabile data_last_valid.ms. Il sistema monitora la qualità del link calcolando la media mobile degli ultimi 10 intervalli di ricezione valida; se tale media supera la soglia critica di 40 ms, viene segnalato il degrado della ricezione.
	RX_CRITICAL	Se l'intervallo di tempo dall'ultima ricezione corretta supera i 120 ms, imposta questo valore.
	RX_OK	Quando non ci sono ne condizioni critiche ne degradate imposta questo valore.

4.5 Decidere di far comandare la Board2

Il chart per decidere se autorizzare o meno la Board2 a muovere il rover è mostrato in Figura 18.

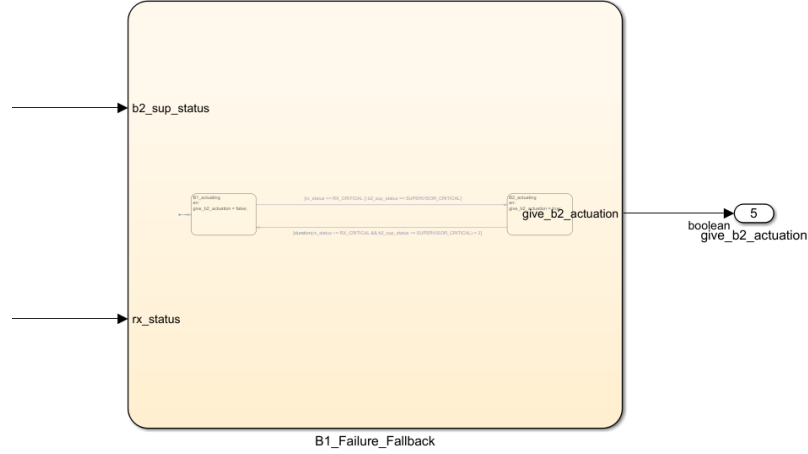
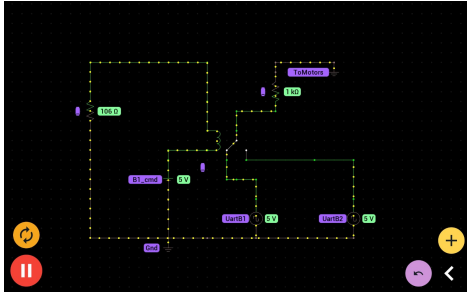


Figure 18: Chart per decidere se autorizzare o meno la Board2 a muovere il rover.

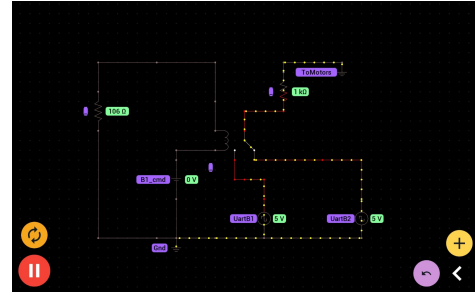
L'autorizzazione a Board 2 per il controllo del rover è regolata dalla variabile *give_b2_actuation* secondo la seguente logica:

- **give_b2_actuation = 1:** Il relè è aperto e il movimento viene gestito da Board 2. Questa condizione si ha quando sono riscontrate anomalie critiche in ricezione (*textitrx_status* = *RX_CRITICAL*), supervisore (*textitb2_sup_status* = *SUP_CRITICAL*).
- **give_b2_actuation = 0:** Il relè è chiuso e il movimento viene gestito da Board 1. Questa condizione si ha quando non sono riscontrate anomalie critiche in ricezione (*textitrx_status* = *RX_OK*), supervisore (*textitb2_sup_status* = *SUP_OK*).

Tale meccanismo agisce come un dispositivo di sicurezza hardware basato sullo stato del supervisore, come mostrato nelle Figure 19b e 19a.



(a) Il comando di Board1 impedisce a Board2 di muovere il rover.



(b) Board1 permette alla Board2 di muovere il rover.

4.6 Costruzione maschere degradate e critiche

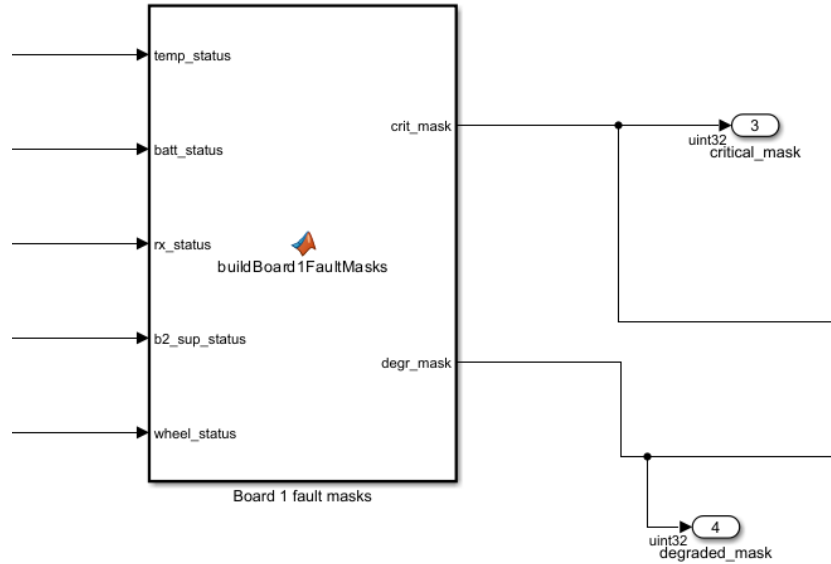


Figure 20: Chart per la costruzione delle maschere di errore critiche e degradate.

Dagli stati critici e degradati rilevati nella parte di gestione faults, si costruiscono due maschere di errore a 8 bit, una per le anomalie critiche e una per quelle degradate.

Il bit di ogni maschera rappresenta un'anomalia specifica, come descritto nella Tabella 1.

Bit	Componente	critical_mask	degraded_mask
0	Temperatura	1 se TEMP_HEALT_CRITIC	1 se TEMP_HEALT_DEG
1	Batteria	1 se TEMP_HEALT_CRITIC	1 se TEMP_HEALT_DEG
2	Ricevitore (RX)	1 se RX_CRITICAL	1 se RX_DEGRADED
3	Ruota FL	1 se TEMP_HEALT_CRITIC	1 se TEMP_HEALT_DEG
4	Ruota FR	1 se TEMP_HEALT_CRITIC	1 se TEMP_HEALT_DEG
5	Ruota RL	1 se TEMP_HEALT_CRITIC	1 se TEMP_HEALT_DEG
6	Ruota RR	1 se TEMP_HEALT_CRITIC	1 se TEMP_HEALT_DEG
7	B2 Supervisor	1 se TEMP_HEALT_CRITIC	1 se TEMP_HEALT_DEG

Table 3: Mappatura dei Bit nelle Fault Masks

4.7 Calcolo riferimenti

Il sottomodello per il calcolo dei riferimenti di velocità lineare e angolare del rover è mostrato in Figura 21.

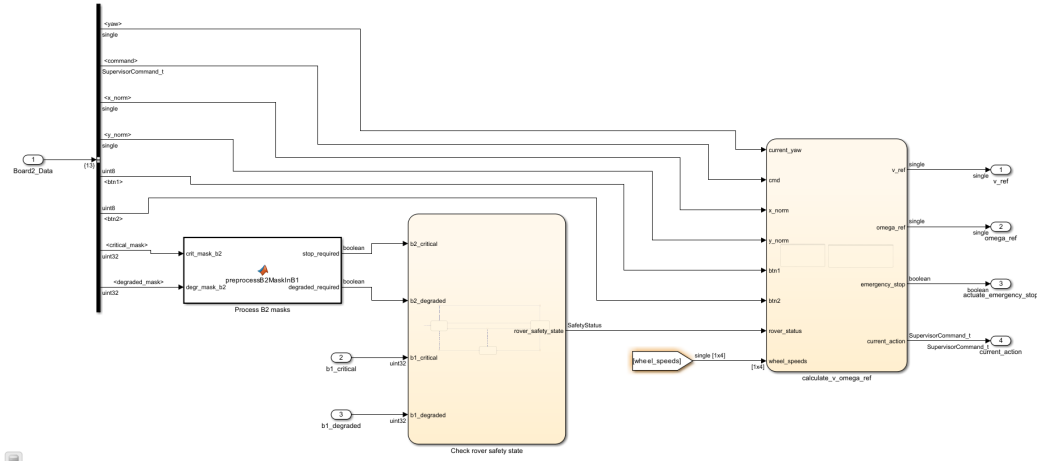


Figure 21: Chart per il calcolo dei riferimenti di velocità lineare e angolare del rover.

In particolare i riferimenti di velocità lineare e angolare del rover vengono calcolati in funzione dei comandi ricevuti dalla Board2 e delle condizioni di fault rilevate. In assenza di anomalie, i riferimenti vengono calcolati direttamente a partire dai comandi ricevuti dalla Board2, in particolare, il riferimento di velocità lineare è calcolato a partire dal comando y_{norm} e il riferimento di velocità angolare è calcolato a partire dal comando x_{norm} . Nel caso in cui siano rilevate anomalie, i riferimenti vengono calcolati in modo da ridurre la velocità del rover o addirittura fermarlo, a seconda della gravità dell'anomalia rilevata. I riferimenti vengono scalati come mostrato in Figura 22.

```

function [V_MAX, OMEGA_MAX, V_MAX_MANEUVER, OMEGA_GO_LEFT, OMEGA_GO_RIGHT] = ...
    updateSafetyLimits(rover_state)

% ---- valori nominali ----
V_MAX      = 1.0;
OMEGA_MAX  = 1.0;
V_MAX_MANEUVER = 0.8;
OMEGA_GO_LEFT  = 0.4;
OMEGA_GO_RIGHT = -0.4;

% ---- scaling in base allo stato ----
if rover_state == SafetyStatus.SAFETY_DEGRADED

    V_MAX      = 0.5 * V_MAX;
    OMEGA_MAX  = 0.5 * OMEGA_MAX;
    V_MAX_MANEUVER = 0.5 * V_MAX_MANEUVER;
    OMEGA_GO_LEFT  = 0.5 * OMEGA_GO_LEFT;
    OMEGA_GO_RIGHT = 0.5 * OMEGA_GO_RIGHT;

elseif rover_state == SafetyStatus.SAFETY_CRITICAL

    V_MAX      = 0;
    OMEGA_MAX  = 0;
    V_MAX_MANEUVER = 0;
    OMEGA_GO_LEFT  = 0;
    OMEGA_GO_RIGHT = 0;

end

end

```

Figure 22: Scaling dei riferimenti in base alla gravità dell'anomalia rilevata.