Supervisori

Febbraio 2026

Contents

List of Figures

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.

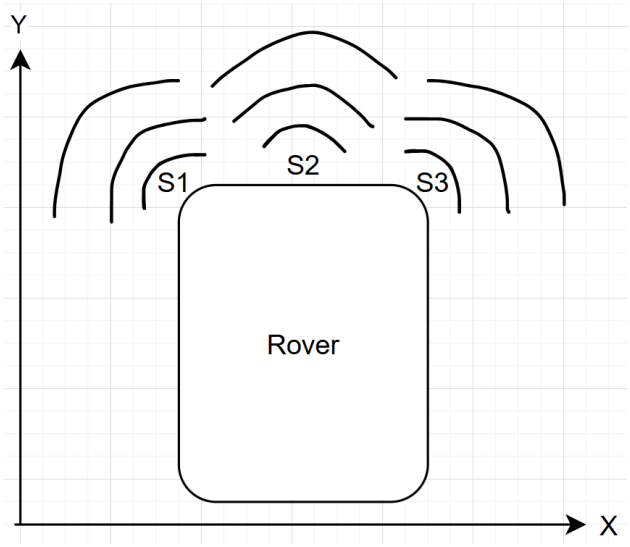


Figure 1: Disposizione dei sensori sulla Board 2.

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

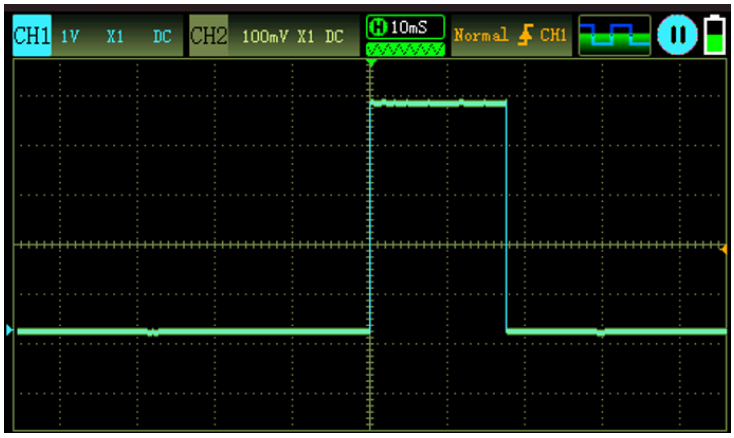


Figure 2: Segnale generato dal sensore HC-SR04 in presenza di un ostacolo a 3 metri di distanza.

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.

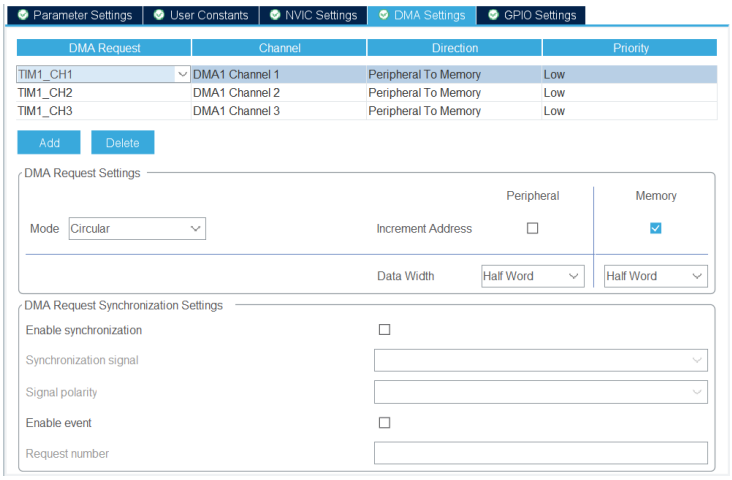


Figure 3: Configurazione del DMA per la lettura dei segnali dai sensori.

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.

```c
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 Supervisore Board 2

2.1 Rilevamento ostacoli

Come da specifiche, il comportamento del rover, in presenza di ostacoli, deve essere funzione di due condizioni principali in cui il sistema può trovarsi:

1. *Stato non degradato*

    - **Distanza dell'ostacolo $\leq$ 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 rilveato l'ostacolo.

2. *Stato degradato*

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

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

2.1.1 Gestione ostacoli con sistema in stato *nondegradato*

Il chart per la gestione degli ostacoli in stato non degradato è mostrato in Figura 5.

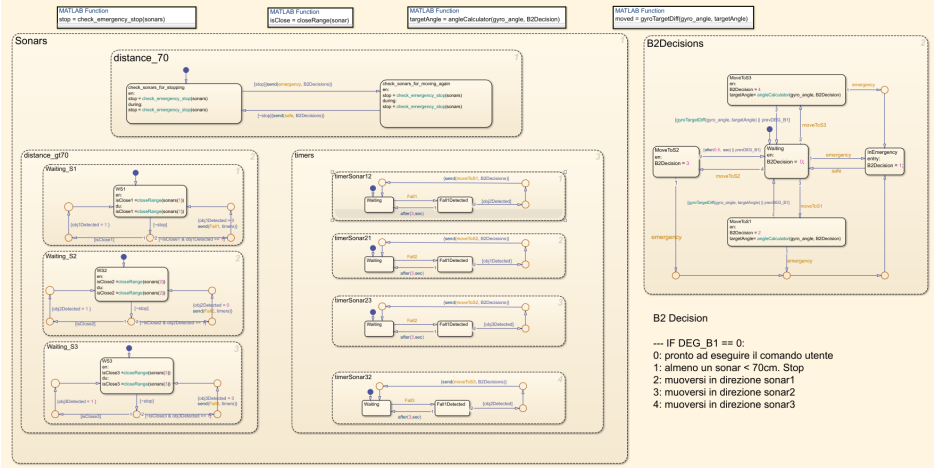
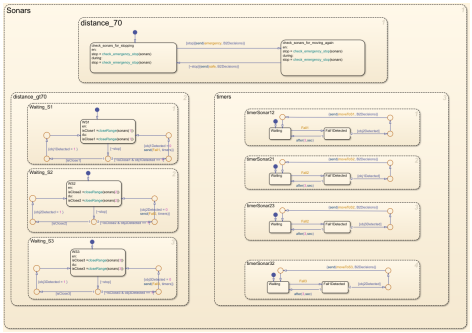
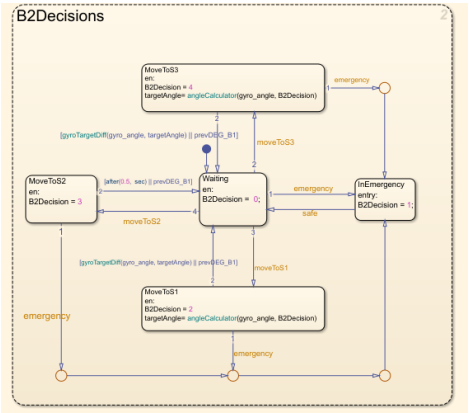


Figure 5: Chart di gestione ostacoli in stato non degradato.

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



(a) Stato parallelo Sonars



(b) Stato parallelo B2Decisione

Figure 6: Stati paralleli del chart in stato non degradato.

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 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 $\leq$ 70 cm.

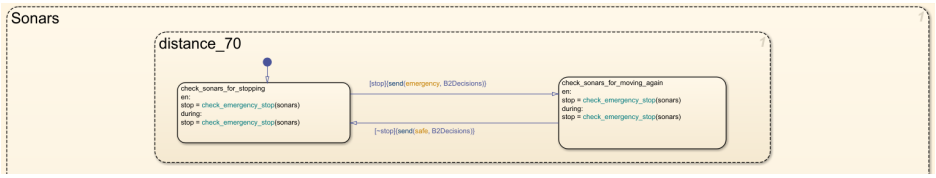


Figure 7: Stato parallelo per la gestione di un ostacolo a distanza $\leq$ 70 cm.

   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 $\leq$ 70 cm, viene inviato un segnale **Emergency** allo stato parallelo *B2Decisione* per fermare il rover. B2Decision 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)

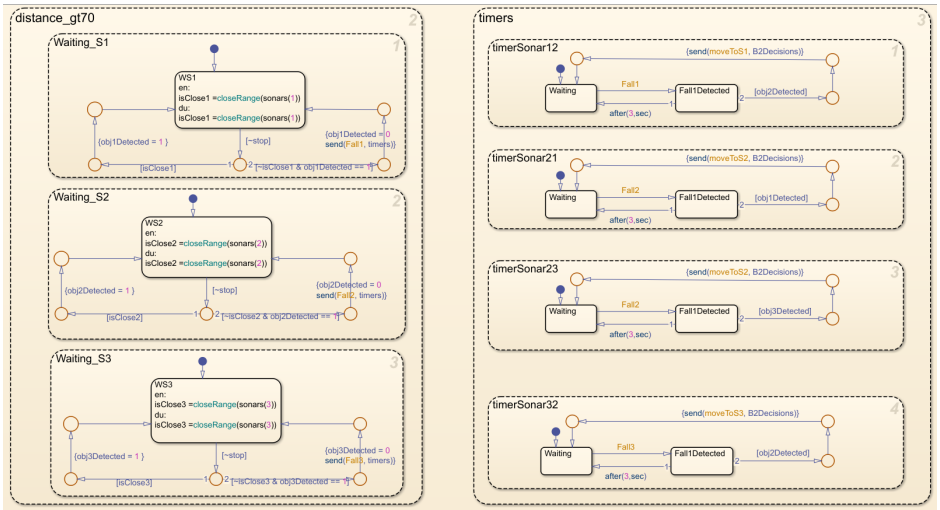


Figure 8: Stato parallelo per la gestione di un ostacolo in movimento a distanza > 70 cm.

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.

i. **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)**.

ii. **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.

2.1.2 Gestione ostacoli con sistema in stato *degradato*

Il chart per la gestione degli ostacoli in stato degradato è mostrato in Figura 9.

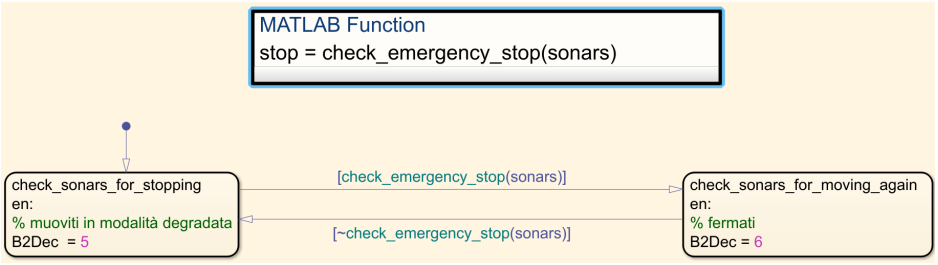


Figure 9: Chart di gestione ostacoli in stato degradato.

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.

3 Supervisore Board 1

3.1 Panoramica generale

Il supervisore della Board 1 è implementato come un modulo Simulink denominato **SupervisorB1**, il cui schema a blocchi è illustrato in Figura 10.

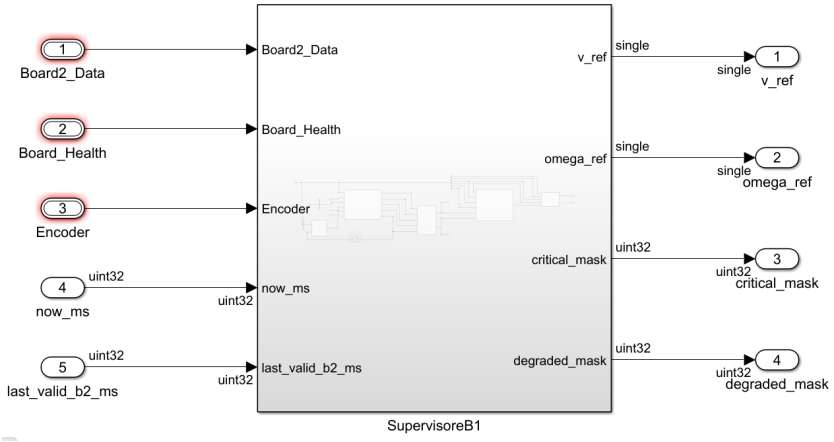


Figure 10: Schema a blocchi del modulo SupervisorB1.

Il suo compito è quello di decidere il riferimento di velocita (v_ref) e di direzione ($omega\_ref$) 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.
- **Aggregazione Fualt**: 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:

- **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 11: Comandi in uscita dal supervisore della Board2.

  - x_norm & y_norm: rappresenta il comando utente proveniente dal joistick.

- *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 mashere 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 12: 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 13: Struttura dati Encoder.

- **Now**: Rappresenta il tempo corrente in millisecondi.
- **Last_valid_b2_ms**: Rappresenta il tempo in millisecondi dell'ultimo dato valido ricevuto dalla Board2.

3.3 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 mashere 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

3.4 Gestione Faults

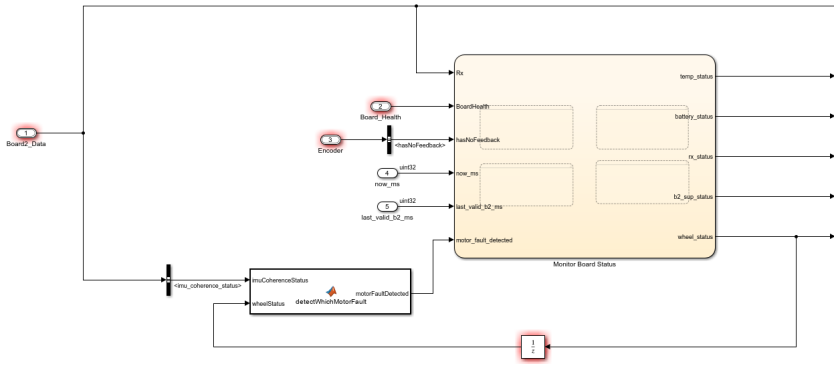


Figure 14: Chart di gestione dei faults.

L'output di questo chart è rappresentato da 5 segnali, ognuno dei quali indica la presenza o meno di un'anomalia *critica degradata* specifica proveniente dalla lettura degli encoder, batteria, temperatura e comunicazione con la Board2.

Table 2: Mappatura della maschera di errore a 8 bit

OUTPUT	**VALORE**	**SIGNIFICATO**
temp_status	TEMP_HEALTH_DEGRADED	Quando la temperatura è nel range $]-15;-5] \cup [55;+60[$
	TEMP_HEALTH_CRITICAL	• 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_status	BATT_HEALTH_DEGRADED	Quando la percentuale di batteria è minore del 23%
	BATT_HEALTH_CRITICAL	• 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 periodo di tempo, considerando l'inerzia delle ruote. Questa condizione è rilevata $has\_no\_feedback(i)$.
	WHEEL_CRITICAL_MOTOR	Quando alla condizione degradata si agigunge un'incoerenza del sensore IMU.
	WHEEL_OK	Quando non ci sono ne condizioni critiche ne degradate
b2_sup_status	SUP_DEGRADED	Description for degraded status
	SUP_CRITICAL	Description for critical status

3.5 Costruzione maschere degradate e critiche

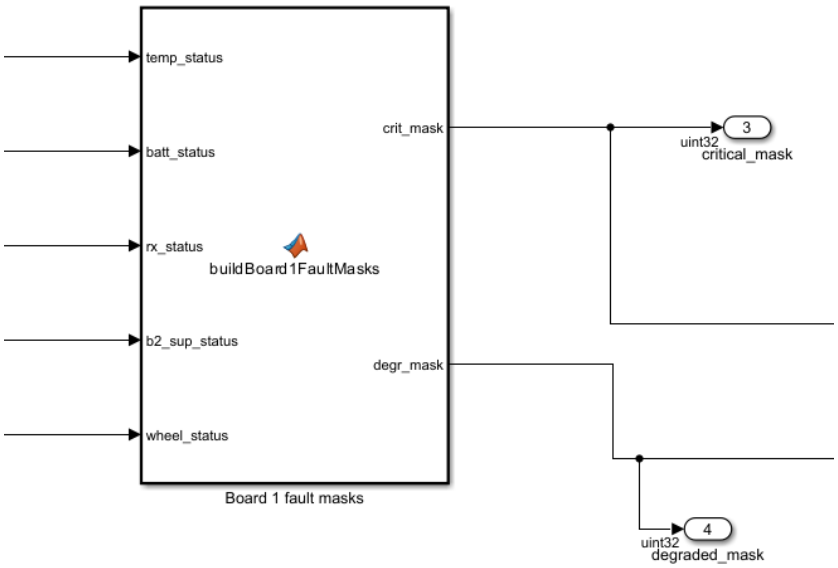


Figure 15: Chart per la costruzione delle maschere di errore critiche e degradate.