

Lunar Habitat Module

Environmental Monitoring and Alert System

Contesto generale

Le missioni di lunga durata sulla superficie lunare richiedono moduli abitativi in grado di operare in modo affidabile e continuativo, garantendo condizioni ambientali compatibili con la presenza umana e con il corretto funzionamento delle apparecchiature di bordo.

Durante la fase di preparazione di una missione di lunga durata, l'ente responsabile della gestione degli habitat lunari ha avviato una serie di test su prototipi di moduli abitativi pressurizzati destinati a ospitare l'equipaggio. In questo contesto, uno degli ingegneri di sistema del progetto, incaricato della verifica dei sottosistemi di supporto vitale e sicurezza, ha evidenziato la **necessità di disporre di un sistema di monitoraggio ambientale locale, semplice ma affidabile, da installare all'interno di ciascun modulo.**

All'interno di un modulo abitativo, parametri quali **temperatura, umidità, illuminazione e presenza di persone** devono essere monitorati in modo continuo; allo stesso tempo, eventuali **condizioni anomale** devono essere segnalate in maniera **immediata e inequivocabile** all'equipaggio, così da consentire un intervento tempestivo.

Per questi motivi, è richiesto che in ogni modulo vi sia un **sistema locale di monitoraggio ambientale**, progettato come **sottosistema embedded autonomo**, in grado di:

- acquisire dati da sensori,
- valutare lo stato dell'ambiente interno,
- informare l'equipaggio tramite **interfacce visive e acustiche**,
- fornire una **supervisione locale** tramite interfaccia grafica.

Obiettivo del progetto

L'obiettivo è sviluppare un **sistema completo di monitoraggio e allerta**, che non si limiti alla semplice lettura dei sensori, ma che sia in grado di:

- interpretare i dati acquisiti,
- determinare lo stato operativo del modulo,
- segnalare in modo coerente eventuali condizioni anomale,
- fornire informazioni sia localmente sia tramite una dashboard web.

Il progetto deve quindi integrare **sensori, logica decisionale e attuatori**, simulando il comportamento di un vero sistema di bordo.

Parametri ambientali e operativi monitorati

Il sistema deve acquisire e gestire almeno le seguenti grandezze:

- **Temperatura interna del modulo**, fondamentale per la sicurezza e il comfort dell'equipaggio.
- **Umidità relativa**, parametro critico per la salute umana e per la protezione delle apparecchiature elettroniche.
- **Livello di illuminazione**, utile per verificare la corretta operatività del sistema di illuminazione interno.
- **Movimento all'interno del modulo**, rilevato tramite sensore PIR, per determinare se il modulo è occupato o attivo.

L'insieme di questi dati fornisce una visione complessiva dello stato del modulo.

Segnalazione dello stato del modulo

In un ambiente safety-critical come un habitat lunare, la segnalazione dello stato deve essere **immediata e comprensibile anche senza consultare un display o una dashboard**.

Il sistema deve includere un **LED RGB** utilizzato come indicatore visivo continuo dello stato del modulo:

- **Verde**: condizioni nominali, tutti i parametri rientrano nei limiti operativi.
- **Giallo**: condizione di attenzione, uno o più parametri sono prossimi alle soglie definite.
- **Rosso**: condizione di anomalia o criticità, che richiede l'intervento dell'equipaggio.

Il LED rappresenta un canale di informazione immediato e sempre attivo, tipico dei sistemi di controllo industriali e aerospaziali.

Inoltre, in presenza di **anomalie critiche**, il sistema deve attivare un **segnale acustico** tramite un cicalino.

Il segnale acustico ha lo scopo di:

- attirare l'attenzione dell'equipaggio anche in assenza di contatto visivo con il pannello,
- segnalare situazioni che non possono essere ignorate.

Il comportamento del cicalino (**continuo o intermittente**) deve essere definito chiaramente e coerente con la gravità dell'anomalia rilevata.

Interfacce di supervisione

Un display collegato ad Arduino è necessario per fornire un **pannello di controllo locale** del modulo. Il suo comportamento deve essere progettato per **evitare aggiornamenti inutili e sovraccarico informativo**:

- in condizioni normali mostra uno stato di attesa,
- alla pressione di un pulsante visualizza i dati dei sensori,
- in caso di anomalie evidenzia chiaramente lo stato critico.

Questo approccio riproduce un'interazione **on-demand**, tipica dei sistemi embedded reali.

Dashboard web locale

Arduino UNO R4 WiFi deve ospitare un **server web locale**, accessibile esclusivamente all'interno della rete del modulo. La dashboard web fornisce una supervisione più completa e deve includere:

- valori aggiornati dei sensori,
- stato del sensore di movimento,
- stato globale del modulo (OK, WARNING, ALARM),
- elenco o indicazione delle anomalie attive.

La dashboard rappresenta il **livello di supervisione**, separato dal livello di acquisizione e controllo.

Comportamento complessivo del sistema

Il sistema opera in modo continuo secondo il seguente schema:

- acquisizione periodica dei sensori,
- valutazione dello stato del modulo,
- aggiornamento degli indicatori di stato (LED e cicalino),
- aggiornamento delle interfacce utente secondo le modalità previste.

Questo comportamento riproduce un **sottosistema di monitoraggio di bordo**, in cui la chiarezza dello stato e la reattività sono fondamentali.

Il sistema deve implementare una **logica di valutazione** dei dati acquisiti, confrontandoli con soglie prestabilite. Esempi di anomalie:

- temperatura o umidità fuori dal range operativo,

- illuminazione non adeguata alle condizioni di utilizzo,
- movimento rilevato in situazioni inattese

Le anomalie devono essere:

- **rilevate** automaticamente,
- **segnalate** tramite LED RGB e cicalino,
- **visualizzate** sul display e sulla dashboard web.

