



**HAL**  
open science

## Il problema della supervisione per S.A.R.A (Robot sottomarino antartico autonomo)

Ramiro Dell'Erba, Bruno Papalia

► **To cite this version:**

Ramiro Dell'Erba, Bruno Papalia. Il problema della supervisione per S.A.R.A (Robot sottomarino antartico autonomo). 45° Convegno Nazionale ANIPLA Associazione Nazionale Italiana per l'Automazione, Nov 2001, Ancona, Italy. hal-02006975

**HAL Id: hal-02006975**

**<https://hal.science/hal-02006975>**

Submitted on 5 Feb 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development

<http://www.enea.it/en>

<http://robotica.casaccia.enea.it/index.php?lang=en>

This paper is a pre-print. The final paper is available on:

Acta congress al “45° Convegno Nazionale ANIPLA Associazione Nazionale Italiana per l’Automazione”, Ancona 22 – 23 novembre 2001, intitolata: “Il problema della supervisione per S.A.R.A. (Robot sottomarino antartico autonomo)”.

# Il problema della supervisione per S.A.R.A. (Robot sottomarino antartico autonomo)

Ramiro dell'Erba e Bruno Papalia

ENEA Divisione RIN, Robotica ed Informatica Avanzata - Casaccia Via Anguillarese 301 Roma 00060 Italy  
Sacco Postale 088.

Tel. 06-30486156, fax 06-30486038 E-mail: dellerba@casaccia.enea.it e papalia@casaccia.enea.it

**Sommario** In questo articolo presenteremo un nuovo veicolo sottomarino autonomo (AUV) progettato per lavorare nel mare antartico. Il progetto del robot sottomarino antartico autonomo (SARA) è condotto dall' Ente Nazionale per l'Energia e l'ambiente (ENEA). Il nostro scopo è costruire un AUV capace di superare difficoltà incontrate in ambienti ostili usando tabelle di regole del tipo "Se...Allora". Successivamente daremo all'AUV la possibilità di aumentare sia il numero delle regole che il loro peso nella tabella. Questo può essere ottenuto definendo opportune "variabili di stato" e lavorando sulle relazioni tra esse. Le variabili di stato contribuiranno alla strutturazione dei dati per aumentare la "conoscenza" del sistema per gli scopi della missione. L' "esperienza del sistema", parte particolarmente difficile, sarà simulata mediante massiccio uso di computers.

**Abstract** In this paper we will present a new autonomous underwater vehicle (AUV) designed to operate in the Antarctic Sea. The Autonomous Antarctic Robot Submarine (SARA) project is led by the National Entity Energy and Environment (ENEA). Our aim is to build an AUV able to manage difficulties in hostile environmental using rule table like "If...Then". Later we give to the AUV the possibility to increase both the number of the rule and their weight in the table. This could be obtained defining appropriate "state variables" and working about their relationship. The state variables will contribute to the data structure, to increase the "knowledge" finalized to the aims of the mission. The "experience of the system" which is the most difficult task, will be simulate by the massive use of computers.

**Parole chiave** AUV, sistema intelligente,

## 1. Introduzione

Il Robot sottomarino antartico (SARA) è un veicolo autonomo dedicato all'esplorazione dei mari ed alla raccolta di dati scientifici [1].

Il progetto SARA è nato da una collaborazione tra l'Ente per le Nuove Tecnologie, l'energia e l'ambiente (ENEA), il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) l'università di Roma 1 "La Sapienza" e la ditta Tecnomare nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA).



Fig.1 Robot sottomarino antartico autonomo (SARA).

Il sottomarino SARA è del tipo "siluro" (vedi Fig.1), e le sue dimensioni sono circa 5,5 metri di lunghezza per un diametro di 0,75 metri.

I materiali usati sono titanio, per la parte pressurizzata e materiali compositi avanzati per tutte le altre parti. Il veicolo è progettato per avere un rapporto peso-spinta tale da mantenerlo in assetto neutro in superficie. L'alimentazione dei motori elettrici è a batteria.

Una tipica missione scientifica di SARA comporta la raccolta di dati scientifici relativi a caratteristiche:

- Idrologiche (conduttività, temperatura, profondità, correnti, ecc..).
- Chimiche (torpidità, Ph, contenuto d'ossigeno, ecc..).
- Biologiche (contenuti di clorofilla, fattori nutrienti ecc..).
- Geologici (Studio della morfologia del fondo marino, topografia del lato sommerso di una banchisa polare ecc..).

Per cui le caratteristiche richieste al robot sono le seguenti:

- Profondità operativa massima 1000 m.

- Velocità di crociera 2 m/sec.
- Autonomia 250 km.
- Durata massima missione 35 h.
- Capacità di movimento “ a volo d’uccello”.

L’architettura del sistema di controllo e supervisione è stata progettata come una struttura a livelli gerarchici (NASREM), basata sulla decomposizione logica dei compiti che devono essere eseguiti dal sistema. Il programma della missione è quindi acquisito e scomposto in una serie di ordini sequenziali; questi ultimi sono eseguiti dalle singole unità di competenza. La navigazione autonoma di SARA è affidata ad un apposito sistema di controllo chiamato navigatore: compito del navigatore è di impostare e mantenere la navigazione di SARA secondo la rotta prevista dal programma di missione. Esso inoltre controlla che il piano di navigazione teorico corrisponda, entro limiti fissati, a quello che sta eseguendo; in caso negativo provvede a modificare la rotta in modo opportuno.

Un monitor sovrintende l’esecuzione degli ordini ed il coordinamento tra i sistemi di controllo. Infine un sistema di supervisione gestisce le emergenze e gli eventi non scadenziati secondo “regole”.

## Scopo e necessità del sistema di supervisione

Lo scopo del sistema di supervisione è di aumentare la flessibilità e la sicurezza di SARA durante la missione programmata.

Supervisione può essere definita in prima battuta come un insieme di strumenti e metodi che permettano il controllo di un processo sia in normali condizioni operative sia in presenza di errori, rotture ecc. [2]. Generalmente l’attività di supervisione consiste nel controllo ed il rilevamento di malfunzionamenti (in un senso da precisare) nel processo automatico, la diagnosi e la decisione da assumere per la correzione o addirittura la riconfigurazione dell’intero processo. Quest’attività può essere effettuata da algoritmi in parte predefiniti, o da un uomo.

Il sistema di supervisione, di cui intendiamo dotare SARA, deve avere autonome capacità decisionali per mettere l’automa in condizione di reagire ad eventi non esplicitamente previsti nel programma della missione (e quindi automatizzati e di competenza del monitor); esso inoltre deve essere in grado di gestire un’eventuale riprogrammazione. Infatti, il sistema deve essere in grado di valutare quantitativamente l’influenza delle nuove condizioni verificatesi sulla riuscita della missione programmata; ove quest’ultima non fosse più realizzabile il sistema di supervisione

deve poter riprogrammare una missione più semplice, compatibile con le risorse disponibili. Nel caso limite deve porre SARA in condizioni di poter essere recuperato da un’apposita squadra.

Il sistema di supervisione gestisce tutte le emergenze che possono verificarsi durante la missione. In particolare alcune delle emergenze più prevedibili che il supervisore deve essere in grado di superare sono le seguenti con le relative reazioni in parentesi:

- Energia insufficiente (riconfigurazione della missione, fino al caso limite dell’emersione e trasmissione di un segnale di emergenza alla base).
- Assorbimento anomalo di corrente da parte di un’utenza collegata al controllo dell’alimentazione (isolamento dell’utenza).
- Scostamento eccessivo della rotta impostata da quella realizzata non gestibile dal navigatore (emersione, posizionamento e trasmissione; riprogrammazione per una differente missione).
- Malfunzionamento di una o più unità sensoriali (isolamento dell’unità).
- Incontro con un ostacolo imprevisto (attivazione modulo “obstacle avoidance”).

Nel caso accadano una o più di tali situazioni contemporaneamente il supervisore le valuta decidendo quale emergenza ha la priorità: il supervisore, quindi, normalmente non interviene. Esso dovrebbe intervenire su richiesta degli altri moduli al verificarsi di una situazione di emergenza che il sistema di controllo non riesce a compensare. (Un modello di supervisore più “intelligente” potrà intervenire autonomamente, “valutando la situazione” in qualche senso o rilevando un malfunzionamento, ad esempio nel caso di dati ripetutamente scartati dal navigatore). E’ quindi chiaro che se tutto procedesse secondo gli automatismi programmati il supervisore non servirebbe.

## Sviluppo di un sistema di supervisione per SARA

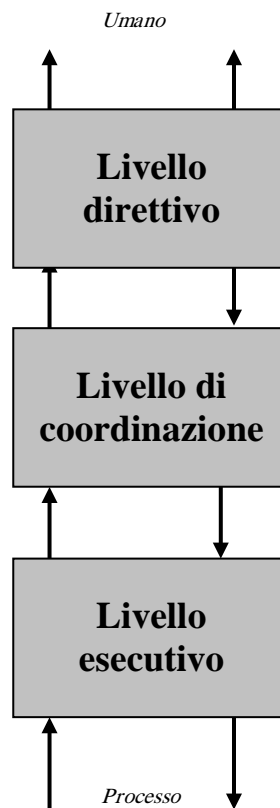
E’ opinione comune [3] che il controllo intelligente descriva la disciplina dove i metodi di controllo sono sviluppati in modo da tentare di emulare o simulare importanti caratteristiche dell’intelligenza umana. Queste ultime includono il trattamento, l’apprendimento la pianificazione (spesso in condizioni di incertezza) e la gestione di gran quantità di dati. Tuttavia alcuni sostengono che quello che chiamiamo controllo intelligente oggi

sarà chiamato solo controllo domani, data anche la gran dinamicità della ricerca sull'argomento. Infatti, la principale difficoltà nello specificare esattamente che cosa s'intende per controllo intelligente origina dal fatto che non vi è accordo nella stessa definizione dell'intelligenza umana, nonché del comportamento intelligente, definizioni che mantengono occupati da secoli filosofi, educatori, psicologi ed ingegneri. Il controllo intelligente è, conseguentemente, altamente interdisciplinare e vi sono perciò molte definizioni del controllo intelligente che si integrano tra loro. Tuttavia per semplicità possiamo iniziare ad affrontare l'argomento assumendo per buoni certi schemi del comportamento umano nella gestione

dei compiti utili per capire come un controllo intelligente dovrebbe operare.

In un'organizzazione umana il management è un controllo indiretto su processi operanti sul mondo reale attraverso messaggi del tipo dati, compiti e comandi diretti ad altri agenti con ben definiti ruoli nella struttura dell'organizzazione.

In tale definizione l'architettura funzionale ha, concettualmente tre livelli gerarchici (vedi Fig.2): il livello direttivo, il livello di coordinazione e il livello esecutivo. I modi di realizzazione di un simile schema, assai diffuso, possono apparire divisi in più o meno di tre livelli, ma concettualmente sono sempre tre.



**Fig.2 Livelli gerarchici di una struttura atta a decidere, coordinare ed eseguire compiti.**

In tale schema un ordine da eseguire, in generale, è scomposto in una serie di sotto ordini i quali singolarmente possono essere eseguiti da un controllo convenzionale. Tuttavia per ottenere un risultato "sicuro" bisogna controllare che i singoli compiti vadano nella direzione giusta per cui vi deve essere un ritorno (feedback) del compito eseguito.

Nel supervisore che stiamo realizzando per SARA procederemo con contenuti di intelligenza crescenti, secondo i seguenti passi. Una prima forma embrionale di intelligenza richiede l'abilità di riconoscere situazioni nell'ambiente, e di prendere

decisioni con il conseguente controllo sulle azioni pianificate. Un superiore livello di intelligenza può includere l'abilità di riconoscere oggetti ed eventi che saranno usati da SARA per rappresentare una "conoscenza" ed un modello del mondo circostante, nonché di pianificare per gli scopi della missione da raggiungere (ovvero la divisione del compito in sotto compiti). Successivamente un livello ancora più alto di intelligenza potrebbe provvedere la capacità di percepire capire, di scegliere e di agire sotto una gran varietà di circostanze. In pratica il primo passo è quello di utilizzare degli algoritmi che, per quanto complessi, sono fissi. Nel secondo si possono utilizzare "algoritmi adattivi", capaci

cioè di modificarsi con l'esperienza e la "conoscenza" del mondo acquisita, magari anche nelle missioni precedenti o simulate. Nel terzo livello di intelligenza, infine, si dovrà operare sullo spazio stesso degli algoritmi per la scelta della famiglia di algoritmi più opportuna per attuare una determinata missione. Una crescita dell'intelligenza è nella crescita di tutti i componenti sopra accennati.

Uno dei processi più difficili da eseguire, per un automatismo, è convertire dati in conoscenza dove la conoscenza è definita essere informazioni strutturate acquisite ed applicate per un compito specifico da svolgere. (Conseguentemente rimuovere l'ignoranza significa rimuovere il grado di incertezza circa un compito specifico da svolgere). Questa definizione è in relazione col principio di aumento della precisione col decremento dell'intelligenza di Saridis [4].

L'organizzazione della conoscenza è perciò uno degli attributi più importante dell'intelligenza.

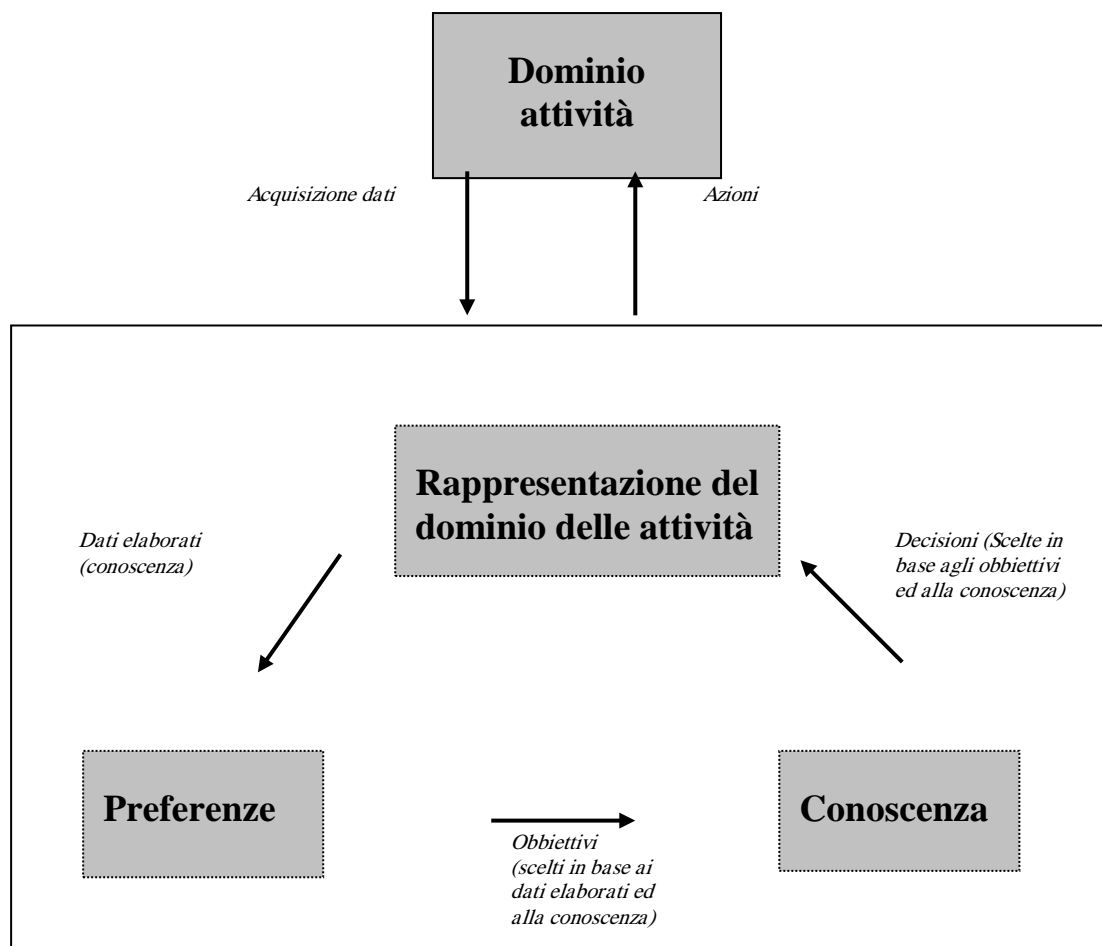
In una maniera semplificata un sistema di supervisione intelligente può essere fondato su quattro concetti di base:

1. L'informazione della situazione attuale e passata (Banca dati su tutti i parametri possibili).

2. La conoscenza, cioè come la situazione può essere classificata in qualche modo (strutturazione variabile della banca dati secondo le preferenze, eventualmente variabili).
3. Le preferenze ovvero che cosa, della conoscenza, è più importante per il conseguimento del compito assegnato. (set di informazioni preimpostate o variabili).
4. Lo scopo, ovvero che cosa voglio raggiungere. (Set di valori da raggiungere).

Un sistema intelligente è un sistema che è capace di manipolare e di modificare la propria conoscenza e le proprie preferenze. Può essere costituito da una struttura gerarchica piramidale di sotto sistemi più semplici. Esso ha una possibile conoscenza della situazione attuale, passata, dell'ambiente nonché dei dati posti nella memoria; non solo un sistema intelligente effettua un'elaborazione costruttiva della conoscenza per intervenire, secondo le priorità di missione pre-impostate, nelle emergenze non previste.

Un semplice modello di supervisore che agisce secondo regole pre-impostate (le quali possono essere variate durante la missione) sulla base di quanto detto sopra è mostrato in fig. 3.



**Fig.3 Schema a blocchi di un modello di supervisore basato su regole.**

Da un punto di vista molto schematico esso è costituito da tre blocchi: la conoscenza (dell'ambiente, della situazione ecc.), dalle preferenze (set di obiettivi da raggiungere) e dal set di azioni possibili. Dalle regole (ovvero decisioni preimpostate o riprogrammabili del tipo "se.. allora") scaturisce la scelta delle decisioni (Set di possibili operazioni sul dominio delle attività). Questo è un supervisore semplice a regole e sarà il modello più semplice di supervisore che studieremo; in seguito l'interazione tra i blocchi potrà essere molto più dinamica e complessa fino all'auto programmazione delle regole e delle preferenze. Si tratta di vedere come interagiscono tra di loro ed in loro stessi questi tre blocchi.

Daremo ora alcune informazioni sulle diverse strade che stiamo battendo per progettare un di supervisione per SARA. Ci limiteremo, per ora, a considerare il sistema di supervisione come un sistema di controllo di alcune emergenze già programmate o capace di reimpostarsele.

Nell'architettura funzionale del sottomarino si è preferito mantenere il livello supervisione superiore a tutti gli altri. Ciò sia per ragioni di modularità (in modo che SARA possa funzionare anche senza supervisore) che in considerazione dell'uso, tra l'altro, di tecniche simboliche di programmazione, normalmente non usate normalmente nei sistemi di controllo. In prima battuta quindi limitiamo il supervisore ad un gestore più o meno intelligente delle emergenze basato su regole pre-impostate, del tipo cioè "Se...allora", come nel caso di fig. 3.

In quest'ottica, volendo realizzare un sistema di supervisione la cui flessibilità sia massima si andrebbe incontro ad un numero possibile di situazioni enorme, tale da pregiudicarne la fattibilità. Un certo insieme di situazioni prestabilite, inoltre, pregiudicherebbe la capacità di reazioni a situazioni impreviste. Il sistema di supervisione, perciò, andrebbe strutturato come un sistema esperto con un numero limitato di situazioni semplici il quale può essere via via aumentato.

I difetti di un sistema di supervisione basato su regole fisse dunque sono evidenti e sono

essenzialmente due. Il numero di potenziali situazioni da prevedere sarebbe virtualmente illimitato, o comunque tale da non rendere implementabili tutte le possibili soluzioni e le conseguenti variazioni di missione. Ovviamente inoltre vi sono sempre situazioni impreviste. Un sistema esperto, invece, potrebbe partire da un primo stadio molto leggero con un numero di situazioni da affrontare molto limitato. Questa base di conoscenza potrebbe essere via via allargata senza modificare l'architettura globale del sistema di supervisione. Che il sistema sia esperto o meno consideriamo fondamentale, per la costruzione della "conoscenza" (intesa come "organizzazione dei dati finalizzati allo scopo") che il supervisore abbia accesso ad una memoria comune ove tutti i dati della missione (Variabili di navigazione, misure scientifiche ecc..) siano a sua disposizione per poterli strutturare secondo l'esempio logico mostrato in figura tre.

Uno schema funzionale semplice di supervisore può essere costituito da due moduli, uno per simulare lo stato atteso di Sara, ed un altro con i segnali effettivamente raccolti dal sistema di controllo e contenente la missione corrente impostata. Nel caso il modello di missione simulata sia, entro limiti opportuni, eguale al tipo di missione che sta realizzando (e non vi siano anomalie segnalate) il supervisore non fa nulla, altrimenti attinge all'insieme di regole che possiede, preconfigurate o costruite con un sistema esperto, e opera di conseguenza. Al limite può reimpostare la missione. Nell'attività normale può anche attivare un modulo di diagnosi per controllare se i dati provenienti dal sistema di controllo sono coerenti o se esistono comportamenti anomali; a tale scopo si possono definire diversi metodi per esaminare la "validità" dei dati forniti dai vari sottosistemi alla memoria comune e dare quindi un giudizio sullo stato del sistema. Abbiamo quindi un modulo di simulazione, un modulo di supervisione vera e propria, un modulo di diagnosi un modulo di riprogrammazione. Vi è poi, infine, il gestore delle collisione. Un possibile schema funzionale a blocchi è mostrato in fig. 4.

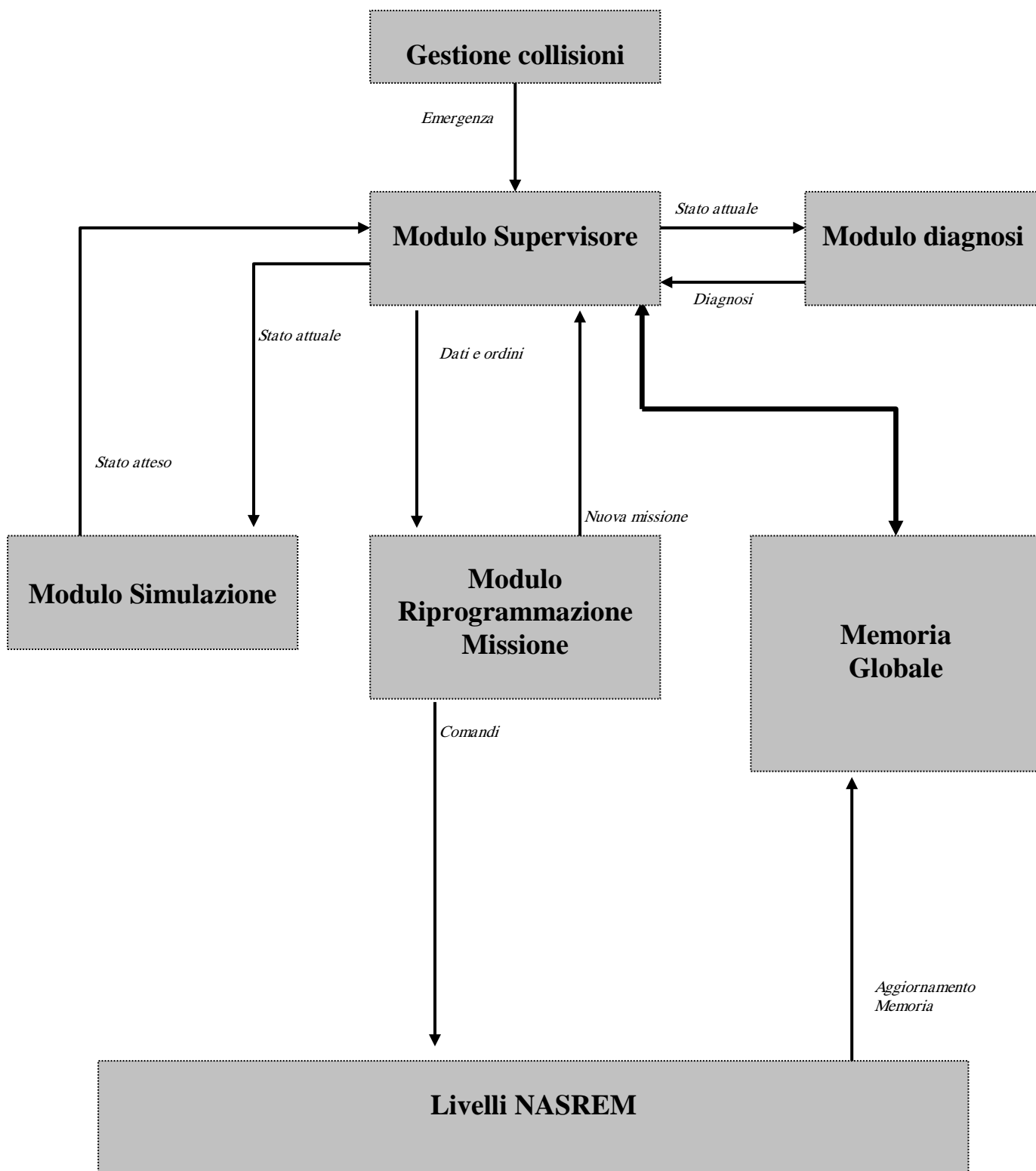


Fig.4 Schema a blocchi dell'architettura del sistema di supervisione.



Si possono quindi definire delle variabili indicative dello stato generale del sistema (“stato di salute”). Ogni variabile ha bisogno di una sua valutazione specifica. Da ogni valutazione possono scaturire decisioni ad hoc (del tipo spegni il sensore oppure riemergi), ma in generale essa entra a far parte di uno “stato di salute”, ovvero con uno stato di efficienza dell’automa rispetto agli obiettivi della missione. Lo stato di salute va confrontato con gli scopi; in prima battuta essi possono essere catalogati in tre gruppi: arrivare al massimo obiettivo, tornare indietro per la via più diretta, riemergere. Ognuno di questi può variare nel corso della missione, con il tempo o secondo gli obiettivi già raggiunti. E’ quindi importante definire le variabili, la loro dinamica e costruirne di altre derivate. Per esempio un’eccessiva variabilità dei timoni può essere analizzata mediante la costruzione di parametri di stabilità della rotta per cui, in casi estremi, il supervisore può intervenire per far abortire la missione (rilevamento di disfunzioni nel sistema di navigazione notato da eccessive correzioni di rotta).

Anche l’attuazione di misure correttive va valutato in base diversi criteri di comportamento; ad esempio si può tornare indietro con la conoscenza dei luoghi già acquisita, riemergere per un’indagine (rotazione di 360 gradi e misura della posizione tramite GPS).

Si potrebbe valutare lo stato di salute con una rete neurale, facendo poi scaturire le decisioni. Il processo di training è però, in questo caso, drammatico, a meno di non usare un simulatore.

In sintesi si tratta di lavorare sui seguenti capisaldi:

- Raccolta dei dati.
- Strutturazione dei dati (conoscenza)
- Costruzione delle variabili derivate; analisi della stabilità.
- Generazione dello “stato di salute” di SARA, mediante un sistema di regole fisse del tipo “se...allora”, regole variabili, un sistema esperto o una rete neurale.
- Ristrutturazione delle preferenze in base alle nuove conoscenze acquisite.
- Scelta del set di operazioni da effettuare nello spazio delle decisioni (dominio attività)

Tutte le strade sopra accennate sono attualmente in studio presso l’ENEA.

## Bibliografia

[1] Papalia B. et al., 1998, 17th Int. Offshore Mechanics and Arctic Engineering Symposium, Lisbon.

[2] Lambert M., 1999, Conception centrée sur l’homme d’un system de supervision avancé. Laboratoire d’Automatique et de Mecanique industrielle, Valenciennes France.

[3] Antsaklis, P.J., 1997, Enciclopedia of Electrical and Electronics Engineering, J. Wiley & sons.

[4] Saridis, G.N. et al., 1988, Automatica, 24(2), 122-133.

