

MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
 NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
 STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
 (ANSI and ISO TEST CHART No. 2)



ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE
L'ENERGIA E L'AMBIENTE

Dipartimento Innovazione

PROGETTO ROBERT

Descrizione e specifiche tecniche del sistema

A. CIPOLLINI, G.B. MEO, V. NANNI, L. ROSSI,
S. TARAGLIO, C. FERJANCIC



**ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE
L'ENERGIA E L'AMBIENTE**

Dipartimento Innovazione

187800

PROGETTO ROBERT

**Descrizione e specifiche tecniche
del sistema**

A. CIPOLLINI, G.B. MEO, V. NANNI, L. ROSSI, S. TARAGLIO
ENEA - Centro della Casaccia, Roma

C. FERJANCIC
DIGITAL Equipment Corporation

Testo pervenuto nel ottobre 1993

**I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA
rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'ente.**

Summary:

This work, a joint research between ENEA and DIGITAL, presents the layout of the ROBERT project, a ROBot with Environment Recognizing Tools, under development in ENEA laboratories. This project aims at the development of an autonomous mobile vehicle able to navigate in a known indoor environment through the use of artificial vision.

The general architecture of the robot is shown together with the data and controls flow among the various subsystems.

Also the inner structure of the latter completed with the functionalities are given in detail.

Riassunto:

Si presenta con questo rapporto lo schema del progetto ROBERT (ROBot with Environment Recognizing Tools) mirante allo studio e alla realizzazione di un veicolo robotico mobile autonomo in grado di orientarsi per mezzo della visione in un ambiente noto.

E' qui presentata l'architettura generale del sistema ed il flusso dei dati e dei controlli tra i vari sottosistemi componenti il veicolo. Sono anche illustrate in dettaglio le funzionalita' e la struttura interna dei sottosistemi.

INDICE

Introduzione

0. Sistema robotico autonomo ROBERT

1. Sottosistema di Supervisione

2. Sottosistema di Pianificazione

3. Sottosistema di Navigazione

4. Sottosistema di Visione

5. Sottosistema di Locomozione

6. Sottosistema di Data Base

7. Sottosistema di Interfaccia Uomo-Macchina (MMI)

INTRODUZIONE

Il progetto ROBERT (ROBot with Environment Recognizing Tools) nasce dall'esigenza di cimentarsi nella progettazione, sviluppo e realizzazione di un "oggetto" concreto che racchiuda in se' alcune delle problematiche di interesse del Dipartimento INN/RIN.

Il suo scopo e', quindi, quello di fornire una buona occasione per esercitare e sviluppare, sul campo, le tecniche, le metodologie e la "fantasia" e, dunque, di imparare "dal vivo" a dominare problemi tecnologici le cui soluzioni o sono rimaste, per troppo tempo, inapplicate, o sono ancora da inventare.

Il presente documento fornisce una descrizione generale del sistema robotico ROBERT e dei sottosistemi che lo compongono.

Per ciascun sottosistema vengono individuate:

- le funzionalita' svolte;
- il flusso dei dati ed i segnali di controllo scambiati con il resto del sistema;
- gli stati di transizione;
- i requisiti di massima implementativi;
- le possibili tecnologie hardware e software utilizzabili nella realizzazione.

Ogni descrizione e' completata sia dai relativi diagrammi di flusso (DFD, Data Flow Diagram), contenenti i flussi dei dati (freccie continue) e dei controlli (freccie tratteggiate) tra i sottosistemi, che da quelli di stato (STD, State Diagram).

Nei DFD i cerchi indicano i sottosistemi che via via compongono l' oggetto in esame, mentre negli STD lo stato e' definito da un rettangolo; in questi ultimi le frecce di transizione tra i diversi stati sono accompagnate da due differenti informazioni: una indica l'azione che scatena il cambiamento di stato e l'altra l'azione prodotta dal cambiamento.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia per la preziosa collaborazione Maria Grazia Di Domenico (SOFTEAM), Paolo Sperati e Franco Ruggiero (DIGITAL) per la cura e collaborazione nella prima stesura del presente documento.

0 - SISTEMA ROBOTICO AUTONOMO ROBERT

ROBERT e' un sistema robotico in grado di muoversi autonomamente in un ambiente noto a priori, nella fattispecie il corridoio di un piano dell'edificio F-65 del C.R.E. Casaccia, mediante l'ausilio della visione artificiale.

Esso dovra' definire autonomamente un percorso ottimale nello spazio noto, dati un punto di partenza (punto robot di inizio missione) ed un punto di arrivo (punto robot di fine missione) e navigare lungo tale percorso, mediante tratte rettilinee, orientandosi nell'ambiente tramite il riconoscimento di "oggetti" noti (marker - figura 0.1) posti in punti prestabiliti e dei quali il robot conosce la configurazione e l'ubicazione nella mappa memorizzata nel proprio data base. In future versioni dovra' anche reagire intelligentemente ad ostacoli "imprevisti" che possano trovarsi lungo il percorso definito.

ROBERT e' composto dai seguenti sottosistemi:

- 1 - supervisione;
- 2 - pianificazione;
- 3 - navigazione;
- 4 - visione;
- 5 - locomozione;
- 6 - data-base;
- 7 - interfaccia uomo/macchina (MMI, Man-Machine Interface);

tra loro interconnessi come indicato nella figura 0.2.

La figura 0.3 illustra il diagramma di contesto fra il sistema robotico e l'operatore sia per l'aggiornamento off-line del data base (AGGIORN_OFF_LINE), sia per comandare o richiedere informazioni al sistema robotico (COMANDO OPERATORE); quest'ultimo risponde con informazioni di stato (INFO_DI_STATO), con codici di errore (COD_ERR) e con log informativi (LOG_INFO_DI_STATO). I segnali di controllo con cui l'operatore governa il sistema sono quelli di attivazione (START/STOP SISTEMA ROBOT) o di richiesta di informazioni (INFO REQUEST OPERATORE, STATUS REQUEST OPERATORE).

La figura 0.4 presenta il flusso dei controlli attraverso i vari sottosistemi.

L'avviamento del sistema (START/STOP) giunge alla supervisione tramite MMI; a sua volta questa attiva la pianificazione (AVVIAMENTO PLANIF) ed abilita la navigazione (AVVIAMENTO NAVIG). Al fine di determinare il percorso, la pianificazione attiva la navigazione (AVV_NAV) per il calcolo del punto robot - tramite informazioni dal data base e

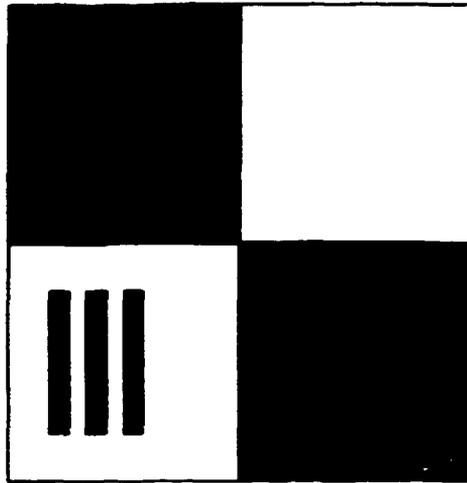


Figura 0.1

ESEMPIO DI MARKER UTILIZZATO NELLA VISIONE

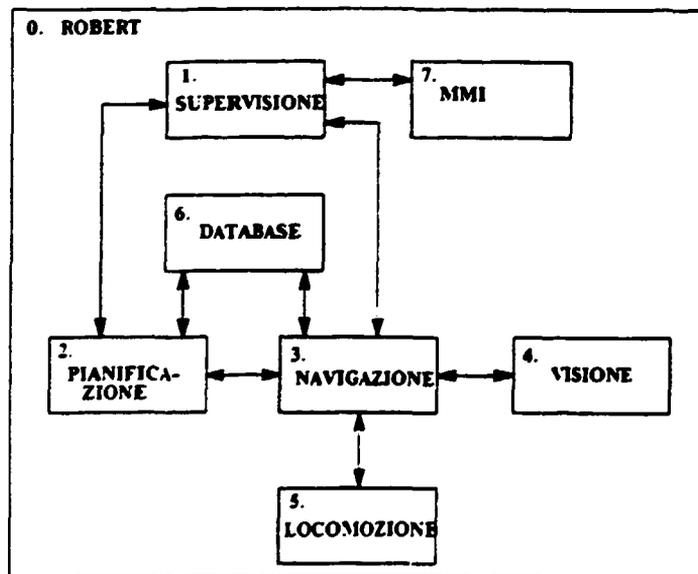


Figura 0.2

ARCHITETTURA DEL SISTEMA ROBERT

dalla visione (AVVIAMENTO VISIONE). La visione viene attivata ogni volta che sia necessario calcolare un punto robot per conoscere la posizione del sistema rispetto alla traiettoria scelta dal pianificatore. La navigazione, una volta determinata la traiettoria, attiva gli attuatori del movimento (AVVIAMENTO LOCOMOZIONE) per il moto del robot.

La figura 0.5 illustra, infine, il flusso di dati tra i sottosistemi di ROBERT. In essa i dati indicati come di I Recovery riguardano azioni che la navigazione compie nei riguardi dei sottosistemi "dipendenti" di visione e locomozione al fine di correggere eventuali condizioni di errore. I dati di II Recovery, invece, rappresentano azioni che compie la supervisione sia verso la navigazione che verso la pianificazione nel caso in cui i dati di I Recovery non abbiano risolto la condizione di errore.

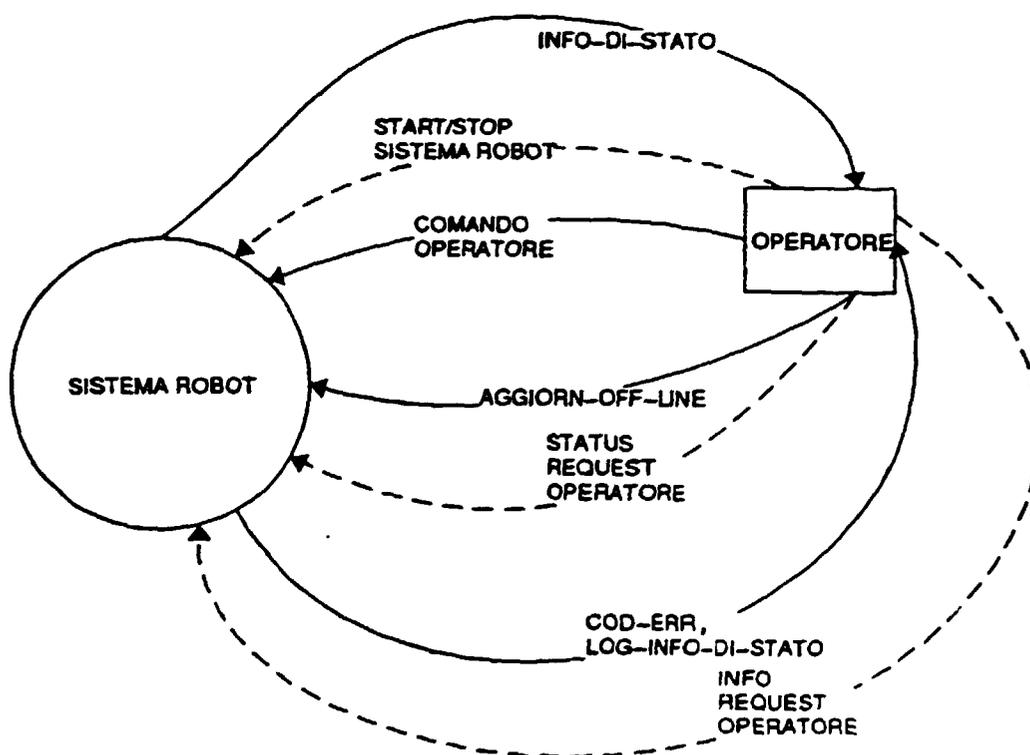


Figura 0.3

CONTEXT DIAGRAM SISTEMA ROBERT

DFD (CONTROLLI) SISTEMA ROBERT

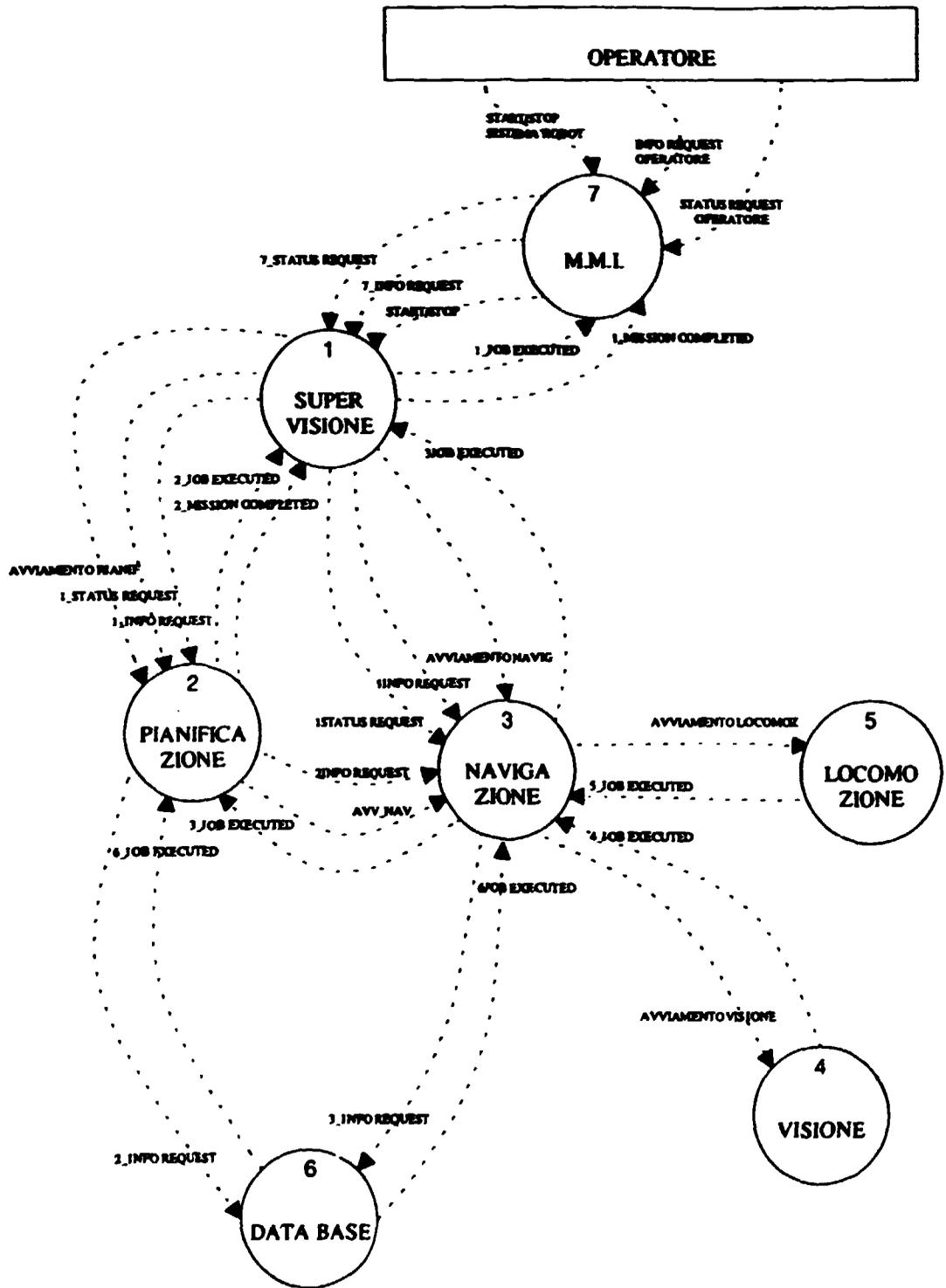


Figura 0.4

DfD (DATI) SISTEMA ROBERT

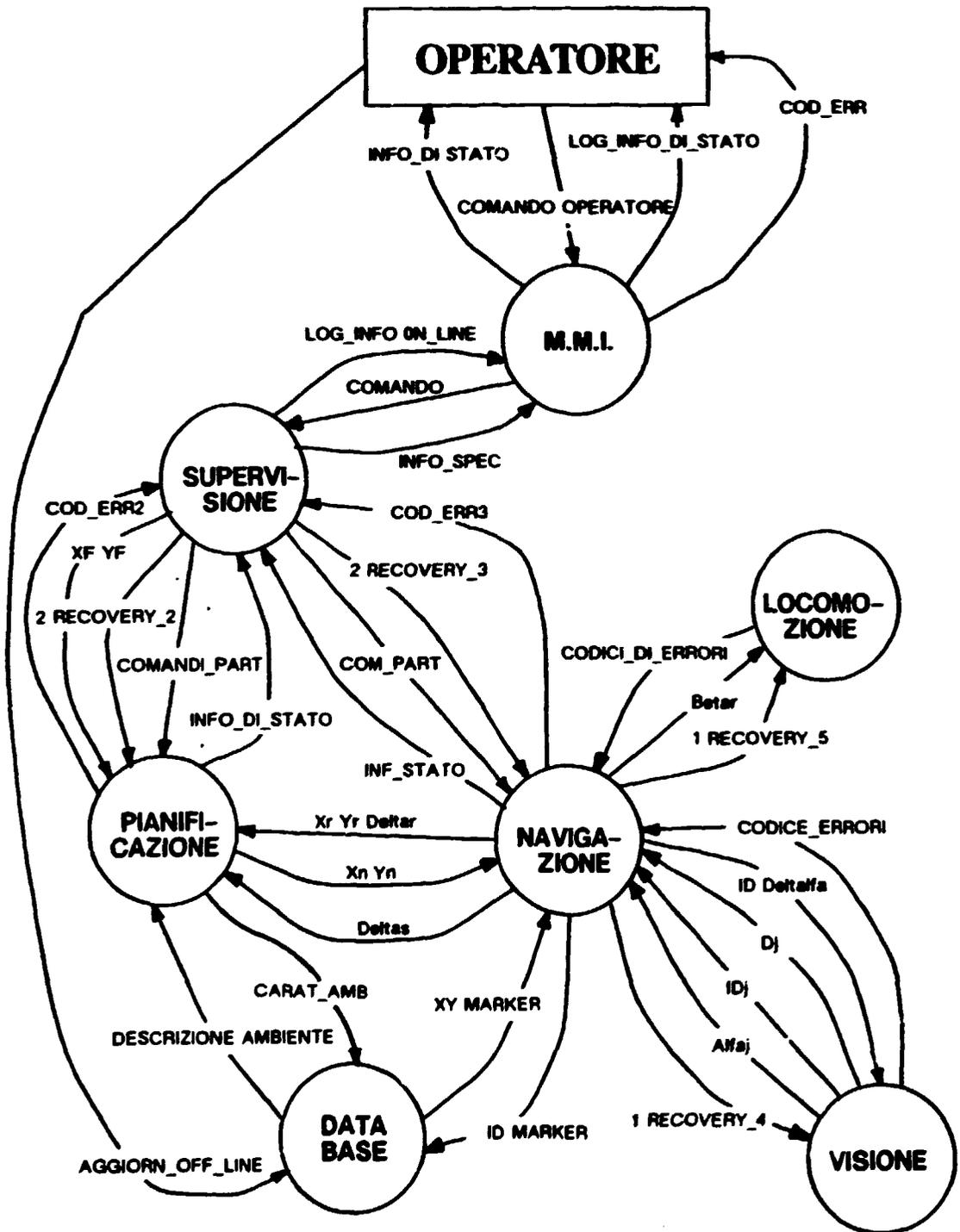


Figura 0.5

1 - SOTTOSISTEMA DI SUPERVISIONE

DEFINIZIONE: Gestisce e controlla l'intero sistema robot.

FUNZIONI:

- Gestione degli ordini provenienti dall'operatore attraverso l'MMI (GESTIONE COMANDI OPERATIVI);
- Registrazione (log) di tutti gli eventi notevoli (REGISTR LOG);
- Monitoraggio e supervisione dello stato di funzionamento dei vari sottosistemi del robot (MONITOR STATO SOTTOSIST);
- Gestione delle condizioni di errore provenienti dal sottosistema di Navigazione e/o Pianificazione relativi all'esecuzione del piano (GESTIONE ERRORI E TIME OUT);
- Controllo interno del sottosistema (CONTROLLO SUPERVISIONE).

Il sottosistema di Supervisione si interfaccia con: MMI, Navigazione, Pianificazione.

DATI IN INPUT (figura 1.1):

- Dal sottosistema di MMI:
 - Direttive dell'operatore (COMANDO).
- Dal sottosistema di Navigazione:
 - Codici di errori non gestibili dal sottosistema; informazioni di stato (COD_ERR3, INF_STATO)
- Dal sottosistema di Pianificazione:
 - Codici di errore non gestibili dal sottosistema; informazioni di stato (COD_ERR2, INFO_DI_STATO).

DATI IN OUTPUT (figura 1.1):

- Al sottosistema di MMI:
 - Estratto continuo on-line della registrazione delle informazioni di stato (LOG_INFO ON_LINE);
 - Informazioni specifiche richieste dall'operatore (INFO_SPEC).
- Al sottosistema di Pianificazione:
 - Coordinate del punto di destinazione finale (Xf Yf);
 - Comandi particolari dell'operatore (COMANDI_PART).
 - Dati di II Recovery (2 RECOVERY_2)

- Al sottosistema di Navigazione:
 - Comandi particolari dell'operatore (COM_PART).
 - Dati di II Recovery (2 RECOVERY_3)

SEGNALI DI CONTROLLO (figura 1.1):

- Dalla Navigazione:
 - segnale di JOB EXECUTED (3JOB EXECUTED).
- Dalla Pianificazione:
 - segnale di JOB EXECUTED (2_JOB EXECUTED);
 - segnale di JOB EXECUTED per fine missione (2_MISSION COMPLETED).
- Dall'MMI:
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (START/STOP);
 - segnale di INFO REQUEST (7_INFO REQUEST);
 - segnale di STATUS REQUEST per richiesta sullo stato (7_STATUS REQUEST).
- Alla Navigazione:
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (AVVIAMENTO NAVIG);
 - segnale di STATUS REQUEST (1STATUS REQUEST);
 - segnale di INFO REQUEST (1INFO REQUEST).
- Alla Pianificazione:
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (AVVIMENTO PLANIF);
 - segnale di STATUS REQUEST per la richiesta sullo stato (1_STATUS REQUEST);
 - segnale di INFO REQUEST (1_INFO REQUEST).
- All' MMI:
 - segnale di JOB EXECUTED per fine missione (1_MISSION COMPLETED);
 - segnale di JOB EXECUTED (1_JOB EXECUTED).

Il sottosistema di Supervisione gestisce i time-out sulle richieste alla Navigazione e alla Pianificazione.

FLUSSO DEI DATI INTERNI (figura 1.1):

- da GESTIONE COMANDI OPERATIVI a REGISTR LOG comando correttamente interpretato per le successive operazioni (COMANDO INTERPRETATO);
- da MONITOR STATO SOTTOSIST a REGISTR LOG informazioni sullo stato dei sottosistemi (INFO_STATO);
- da MONITOR STATO SOTTOSIST a GESTIONE ERRORI E TIME OUT condizione di errore dai sottosistemi o time out (ANOMALIA1);
- da GESTIONE ERRORI E TIME OUT a REGISTR LOG log di errore (ALLARMI1).

FLUSSO DEI CONTROLLI INTERNI (figura 1.1):

- da CONTROLLO SUPERVISIONE a GESTIONE COMANDI OPERATIVI abilitazione (ABILITA/DISABILITA1);
- da CONTROLLO SUPERVISIONE a REGISTR LOG abilitazione (ABILITA/DISABILITA2);
- da CONTROLLO SUPERVISIONE a MONITOR STATO SOTTOSIST abilitazione (ABILITA/DISABILITA3);
- da MONITOR STATO SOTTOSIST a GESTIONE ERRORI E TIME OUT abilitazione (ABILITA/DISABILITA4).

STATI DI TRANSIZIONE (figura 1.2):

- **ATTESA COMANDO SUP.** E' lo stato iniziale del sottosistema. Quando viene ricevuto il comando del sottosistema MMI, si esce verso lo stato di:
- **INTERPRETAZIONE COMANDO.** In questo stato viene interpretato il comando dello operatore; si esce verso gli stati di:
 - 1) **ATTESA COMANDO SUP** se il comando non e' corretto o non e' capito;
 - 2) **ATTIVAZIONE SISTEMI** se il comando e' interpretato correttamente.
- **ATTIVAZIONE SISTEMI.** In questo stato il Supervisore attiva i sottosistemi necessari ad eseguire il comando dell'operatore; si esce verso lo stato di:
- **ASCOLTO & ANALISI DATI.** In questo stato vengono ricevute le informazioni relative allo stato dei sottosistemi attivati; si esce verso gli stati di:
 - 1) **RACCOLTA & INVIO LOG** quando vi sono informazioni da inviare all'MMI;
 - 2) **ATTIVAZIONE SISTEMI** in caso di anomalia dei sottosistemi con il recupero delle situazioni di errore;
 - 3) **ATTESA COMANDO SUP** se la missione e' stata completata o se ci sono anomalie non recuperabili.
- **RACCOLTA & INVIO LOG.** In questo stato il sottosistema di Supervisione invia le informazioni raccolte (LOG) all'MMI. Una volta completato il logging, si ritorna nello stato di ASCOLTO & ANALISI DATI.

REQUISITI:

- Gestione in tempo reale.

IMPLEMENTAZIONE HW/SW:

- Computazione algoritmica sequenziale;
- Computazione algoritmica parallela;
- Elaborazione simbolica della conoscenza;
- Metodi inferenziali simbolici.

STD SOTTOSISTEMA SUPERVISIONE

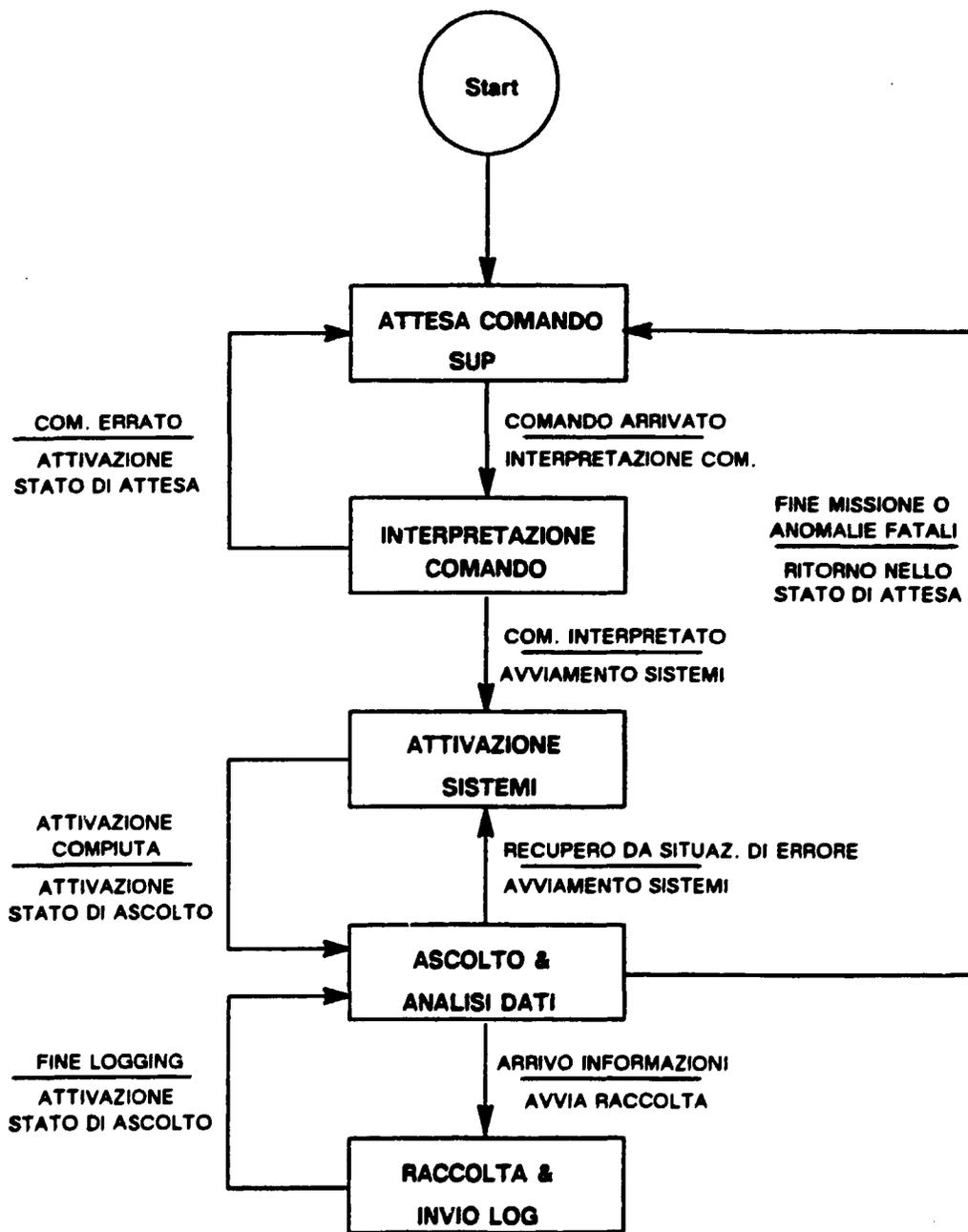


Figura 1.2

2 - SOTTOSISTEMA DI PIANIFICAZIONE

DEFINIZIONE: Determina il percorso da effettuare in base alla posizione attuale del robot, al punto di arrivo e alla conoscenza dell'ambiente.

FUNZIONI:

- Determinazione dei punti che individuano le spezzate costituenti il percorso da seguire (DETERM SPEZZATE);
- Trasmissione (in successione) al sottosistema di Navigazione delle coordinate dei punti in termini via via da raggiungere (TRASM SPEZZATE);
- Gestione delle condizioni di errore (GESTIONE ERRORI);
- Controllo interno del sottosistema (CONTROLLO PIANIFICAZIONE).

Il sottosistema di Pianificazione si interfaccia con: Data-Base, Navigazione e Supervisione.

DATI IN INPUT (figura 2.1):

- Dal sottosistema di Data-Base:
 - Coordinate delle posizioni dei marker nell'ambiente (DESCRIZIONE AMBIENTE).
- Dal sottosistema di Navigazione:
 - Posizione attuale del robot (X_r Y_r Deltar);
 - Codice di errore per grandi scostamenti (Deltas).
- Dal sottosistema di Supervisione:
 - Coordinate del punto di destinazione finale (X_f Y_f);
 - Comandi particolari dell'operatore (COMANDI_PART);
 - Dati di II Recovery (2 RECOVERY_2).

DATI IN OUTPUT (figura 2.1):

- Al sottosistema di Navigazione:
 - Coordinate del punto da raggiungere, inviate una coppia alla volta (X_n Y_n).
- Al sottosistema di Supervisione:
 - Codici di errore, informazioni di stato (COD_ERR2, INFO_DI_STATO).
- Al sottosistema di Data-Base:
 - Caratteristica dell'ambiente richiesta (CARAT_AMB).

DFD SOTTOSISTEMA PIANIFICAZIONE

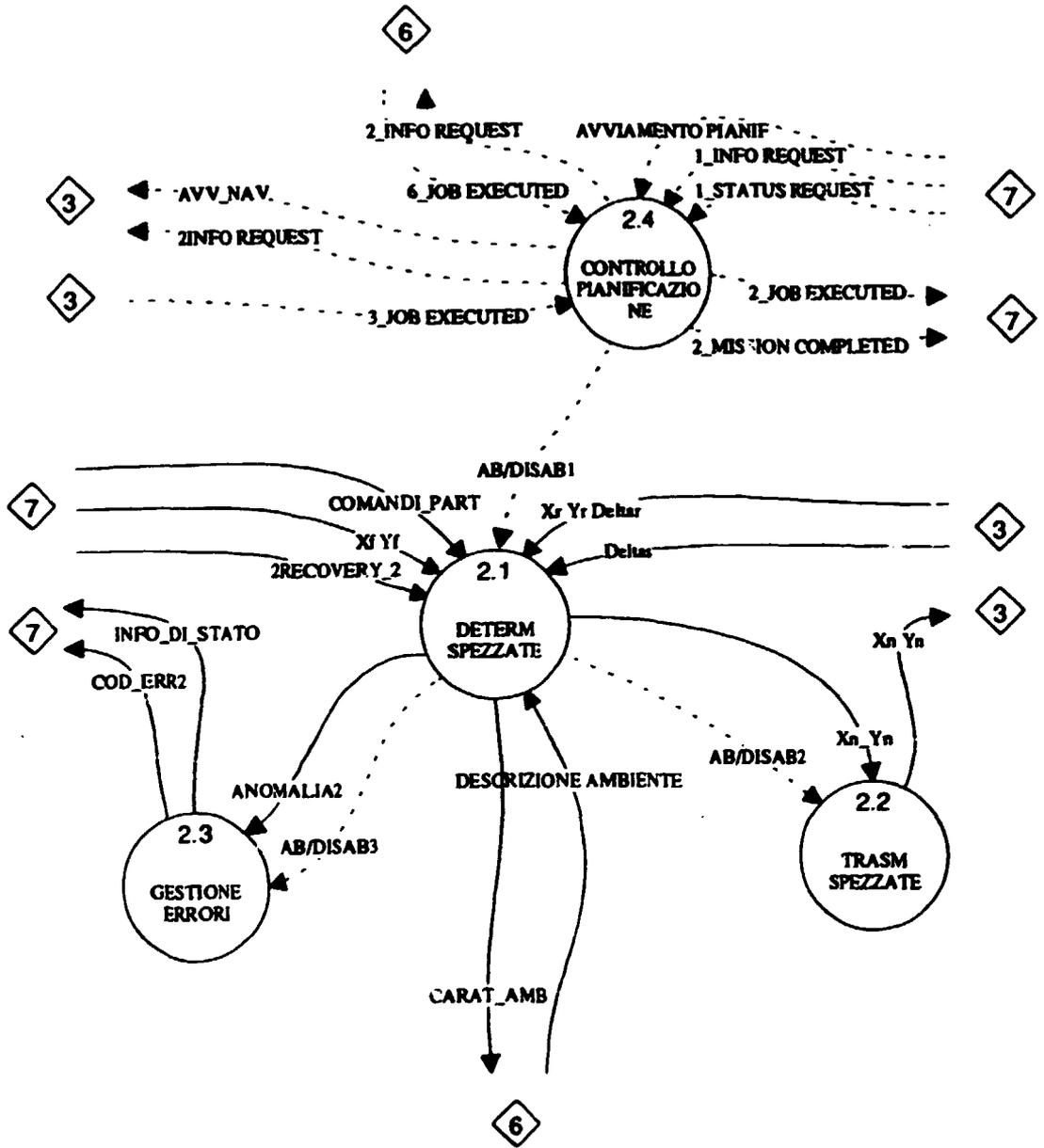


Figura 2.1

SEGNALI DI CONTROLLO (figura 2.1):

- Dalla Supervisione:
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (AVVIAMENTO PLANIF);
 - segnale di STATUS REQUEST per richiesta sullo stato (1_STATUS REQUEST);
 - segnale di INFO REQUEST (1_INFO REQUEST).
- Dalla Navigazione:
 - segnale di JOB EXECUTED per richiesta nuova tratta (3_JOB EXECUTED).
- Dal Data-Base:
 - segnale di JOB EXECUTED (6_JOB EXECUTED).
- Alla Supervisione:
 - segnale di JOB EXECUTED (2_JOB EXECUTED);
 - segnale di JOB EXECUTED per missione ultimata (2_MISSION COMPLETED).
- Alla Navigazione:
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (AVV_NAV);
 - segnale di INFO REQUEST (2INFO REQUEST).
- Al Data-Base:
 - segnale di INFO REQUEST (2_INFO REQUEST).

Il sottosistema di Pianificazione gestisce i time-out sulle richieste al Data Base e alla Navigazione.

FLUSSO DEI DATI INTERNI (figura 2.1):

- da DETERMINAZIONE SPEZZATE a TRASMISSIONE SPEZZATE coordinate del punto da raggiungere (Xn_Yn);
- da DETERMINAZIONE SPEZZATE a GESTIONE ERRORI codice di errore dell'anomalia (ANOMALIA2).

FLUSSO DEI CONTROLLI INTERNI (figura 2.1):

- da CONTROLLO PIANIFICAZIONE a DETERMINAZIONE SPEZZATE abilitazione (AB/DISAB1);
- da DETERMINAZIONE SPEZZATE a TRASMISSIONE SPEZZATE abilitazione (AB/DISAB2);
- da DETERMINAZIONE SPEZZATE a GESTIONE ERRORI abilitazione (AB/DISAB3).

STATI DI TRANSIZIONE (figura 2.2):

- **ATTESA COMANDO PIANIFICAZIONE.** E' lo stato iniziale del sistema. Dopo aver ricevuto dalla Supervisione una richiesta di piano con punto finale dato; si esce verso lo stato di:

• **DETERMINAZIONE SPEZZATE.** In questo stato viene chiesto il punto robot alla Navigazione (punto robot inizio missione) e viene determinato il percorso da seguire, identificandolo con una serie di spezzate. Si esce verso gli stati di:

- 1) **TRASMISSIONE SPEZZATE** quando e' stato definito il percorso;
- 2) **ERRORE PLAN** in caso di anomalia (es. punto robot fallito o punto finale impossibile a raggiungersi).

• **TRASMISSIONE SPEZZATE.** In questo stato vengono trasmesse al sottosistema di Navigazione, in successione, le coordinate delle spezzate che compongono il percorso. Si esce verso gli stati di:

- 1) **ATTESA DA NAVIGAZIONE** ogni volta che viene inviata una spezzata;
- 2) **ATTESA COMANDO PLANIFICAZIONE** quando ha trasmesso tutte le spezzate.

• **ATTESA DA NAVIGAZIONE.** In questo stato si attende una risposta dalla Navigazione; si esce verso gli stati di:

- 1) **TRASMISSIONE SPEZZATE** quando la spezzata e' stata eseguita correttamente;
- 2) **DETERMINAZIONE SPEZZATE** se lo scostamento tra il punto teorico da raggiungere e il punto robot attuale e' troppo grande;
- 3) **ERRORE PLAN** se si verifica una anomalia o un time-out.

• **ERRORE PLAN:** gestione delle anomalie. Si esce verso **ATTESA COMANDO PLANIFICAZIONE** dopo aver definito i dati di I Recovery.

REQUISITI

- Determinazione "quasi" ottimizzata del percorso.

IMPLEMENTAZIONE HW/SW:

- Computazione algoritmica sequenziale;
- Computazione algoritmica parallela;
- Elaborazione simbolica della conoscenza;
- Metodi inferenziali simbolici;
- Reti neurali.

STD SOTTOSISTEMA PIANIFICAZIONE

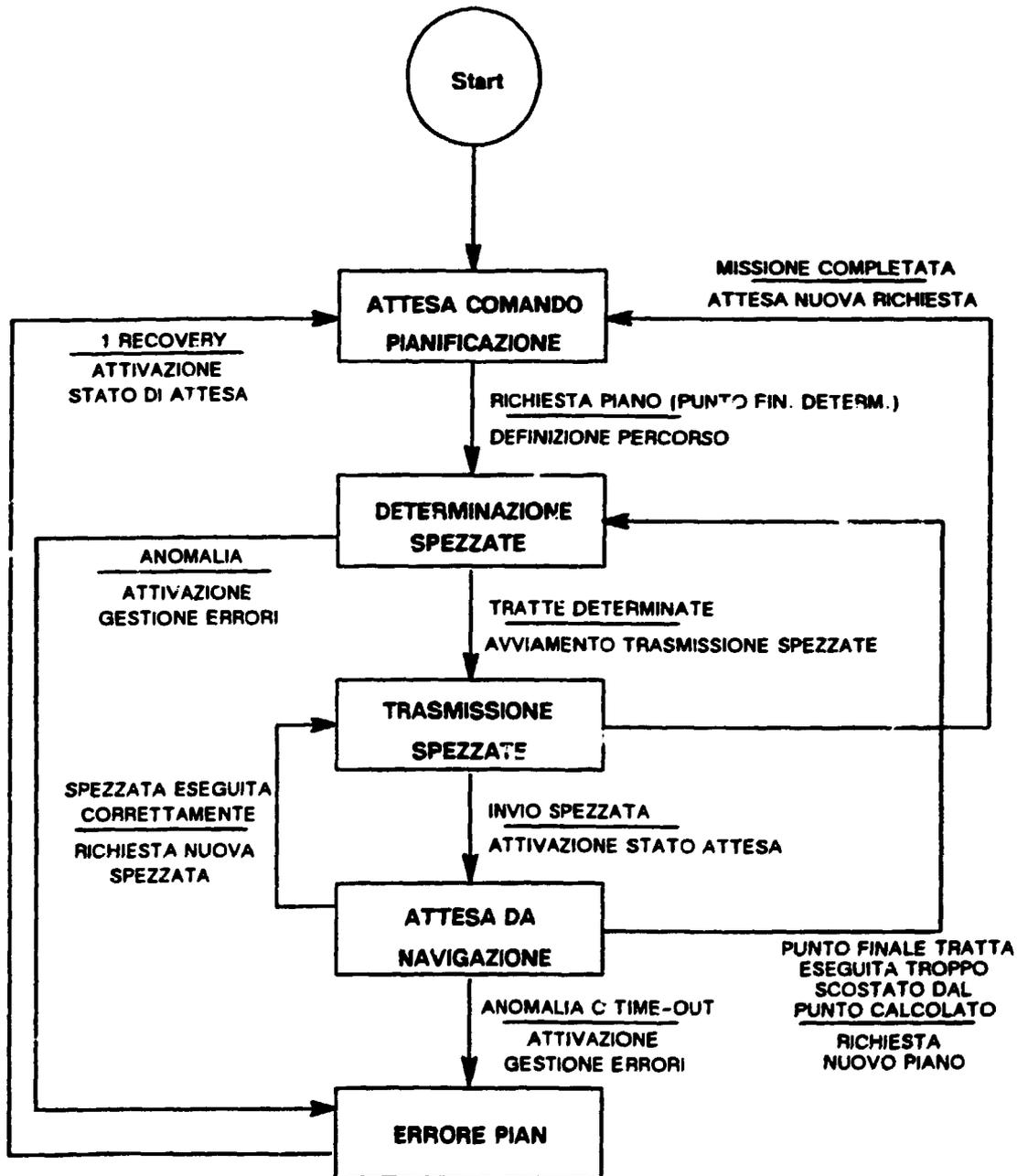


Figura 2.2

3 - SOTTOSISTEMA DI NAVIGAZIONE

DEFINIZIONE: Calcola i parametri della rotta definita dal pianificatore.

FUNZIONI:

- Determinazione del punto robot (DETERMINAZIONE PUNTO ROBOT);
- Determinazione di eventuali punti intermedi di controllo lungo le tratte da percorrere e gestione degli scostamenti dai punti teorici della rotta (DETERMINAZIONE PUNTI MEDI E GEST SCOSTAM);
- Determinazione delle distanze e degli angoli da percorrere per seguire la rotta (ORDINI ALLA LOCOMOZIONE);
- Gestione di eventuali anomalie o allarmi provenienti dalla Locomozione e dalla Visione (GESTIONE ANOMALIE ESTERNE);
- Segnalazione al sottosistema di Supervisione degli stati di funzionamento, normali e non (SEGNALAZIONE STATI ANOMALI E NON);
- Controllo interno del sottosistema (CONTROLLO NAVIGAZIONE).

Il sottosistema di navigazione si interfaccia con : Visione, Locomozione, Pianificazione, Data-Base, Supervisione.

DATI IN INPUT (figura 3.1):

- Dal sottosistema di Visione:
 - Angolo (ALFA_j);
 - ID dei marker riconosciuti (ID_j);
 - Distanza (D_j);
 - Codici di errore (CODICE_ERRORI).
- Dal sottosistema di Locomozione:
 - Codici di errore per malfunzionamento interno e per anomalie di funzionamento per fattori esterni (es.: impedimento a muoversi dovuto ad uno ostacolo) (CODICI_DI_ERRORI).
- Dal sottosistema di Pianificazione:
 - Tratta da seguire (in successione) (X_n Y_n).
- Dal sottosistema di Data-Base:
 - Coordinate esatte dei marker (XY MARKER).

DFD SOTTOSISTEMA NAVIGAZIONE

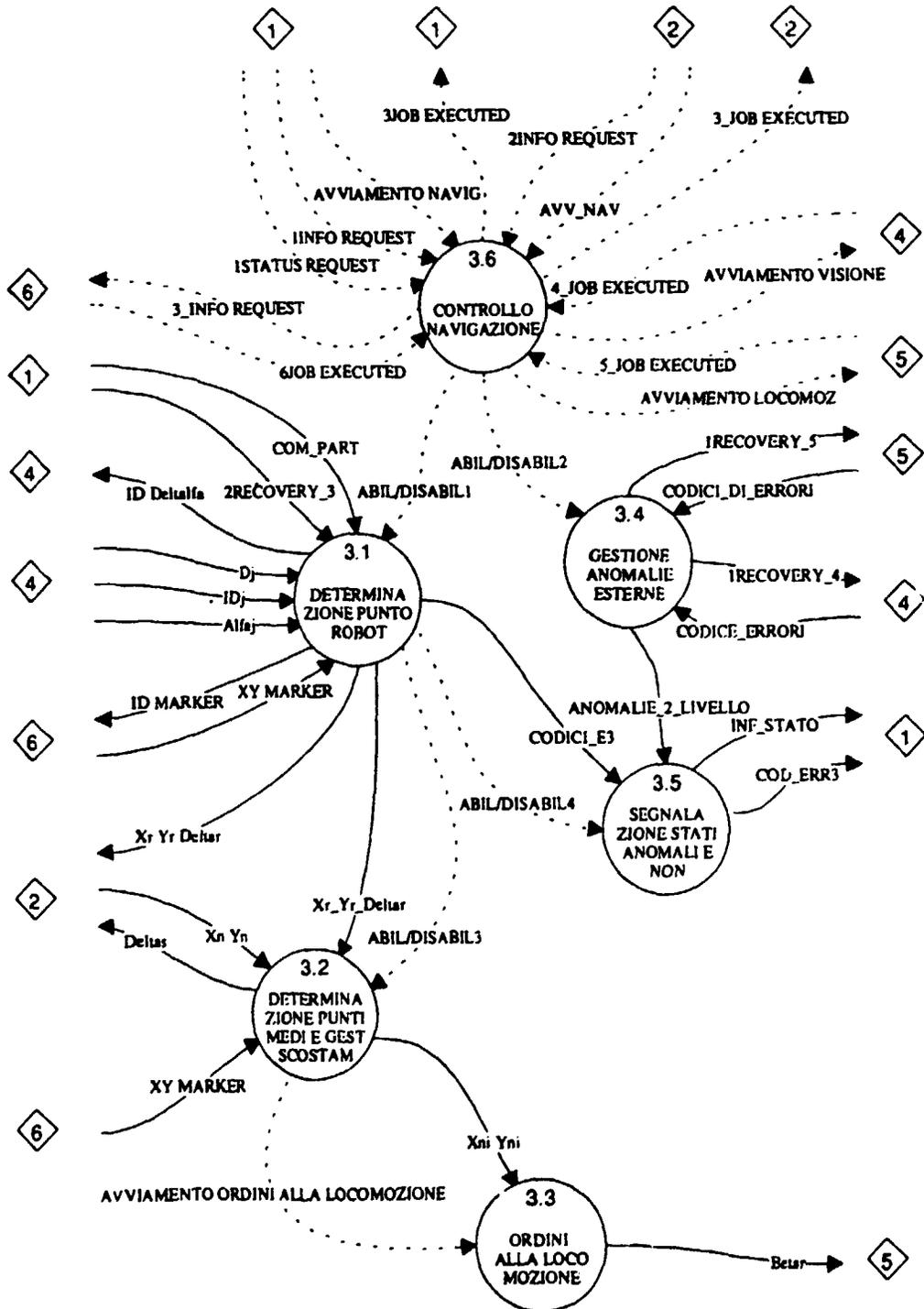


Figura 3.1

- Dal sottosistema di Supervisione:
 - Altri comandi dell'operatore (COM_PART);
 - Dati di II Recovery (2 RECOVERY_3).

DATI IN OUTPUT (figura 3.1):

- Al sottosistema di Visione:
 - Marker da ricercare e settore angolare di ricerca (ID Deltalfa);
 - Dati di I Recovery (1 RECOVERY_4).
- Al sottosistema di Locomozione:
 - Direzione e distanza da percorrere (Betar);
 - Dati di I Recovery (1 RECOVERY_5).
- Al sottosistema di Pianificazione:
 - Punto robot (Xr Yr Deltar);
 - Codici di errore dovuti a grandi scostamenti (Deltas).
- Al sottosistema di Supervisione:
 - Codici di errore provenienti dai sensori (Visione, Locomozione) per la presenza di ostacoli, etc.; informazioni di stato di funzionamento normale e non (COD_ERR3, INF_STATO).
- Al sottosistema di Data-Base:
 - ID dei marker (ID MARKER).

SEGNALI DI CONTROLLO (figura 3.1):

- Dalla Supervisione:
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (AVVIAMENTO NAVIG);
 - segnale di STATUS REQUEST per richiesta sullo stato (1STATUS REQUEST);
 - segnale di INFO REQUEST per informazioni sul punto robot (1INFO REQUEST).
- Dalla Pianificazione:
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (AVV_NAV).
 - segnale di INFO REQUEST per informazioni sul punto robot (2INFO REQUEST).
- Dalla Visione:
 - segnale di JOB EXECUTED (4_JOB EXECUTED).
- Dalla Locomozione:
 - segnale di JOB EXECUTED (5_JOB EXECUTED).
- Dal Data Base:
 - segnale di JOB EXECUTED (6JOB EXECUTED).
- Alla Supervisione:
 - segnale di JOB EXECUTED (3JOB EXECUTED).

- **Alla Pianificazione:**
 - segnale di JOB EXECUTED (richiesta prossima tratta) (3_JOB EXECUTED).
- **Alla Visione:**
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (AVVIAMENTO VISIONE).
- **Alla Locomozione:**
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (AVVIAMENTO LOCOMOZ).
- **Al Data Base:**
 - segnale di INFO REQUEST per informazioni sui marker (3_INFO REQUEST).

Il sottosistema di Navigazione e' responsabile della gestione dei tempi di time-out associati alla Locomozione e alla Visione.

FLUSSO DEI DATI INTERNI (figura 3.1):

- da DETERMINAZIONE PUNTO ROBOT a DETERM. PUNTI MEDI E GESTIONE SCOSTAMENTI coordinate del punto robot (Xr_Yr_Delta);
- da DETERMINAZIONE PUNTO ROBOT a SEGNALAZIONE STATI ANOMALI E NON codici di errore e time-out nella determinazione del punto robot (CODICI_E3);
- da DETERMINAZIONE PUNTI MEDI E GESTIONE SCOSTAMENTI a ORDINI ALLA LOCOMOZIONE coordinate del punto robot successivo (Xni, Yni);
- da GESTIONE ANOMALIE ESTERNE a SEGNALAZIONE STATI ANOMALI E NON anomalie non gestibili con dati di I Recovery (ANOMALIE_2_LIVELLO).

FLUSSO DEI CONTROLLI INTERNI (figura 3.1):

- da CONTROLLO NAVIGAZIONE a DETERMINAZIONE PUNTO ROBOT abilitazione (ABIL/DISABIL1);
- da CONTROLLO NAVIGAZIONE a GESTIONE ANOMALIE ESTERNE abilitazione (ABIL/DISABIL2);
- da DETERMINAZIONE PUNTO ROBOT a DETERMINAZIONE PUNTI MEDI E GESTIONE SCOSTAMENTI abilitazione (ABIL/DISABIL3);
- da DETERMINAZIONE PUNTO ROBOT a SEGNALAZIONE STATI ANOMALI E NON abilitazione (ABIL/DISABIL4);
- da DETERMINAZIONE PUNTI MEDI E GESTIONE SCOSTAMENTI a ORDINI ALLA LOCOMOZIONE abilitazione (AVVIAMENTO ORDINI ALLA LOCOMOZIONE).

STATI DI TRANSIZIONE (figura 3.2):

• **ATTESA COMANDO NAV.** E' lo stato iniziale del sottosistema. Si esce da tale stato con una richiesta di punto robot, che puo' essere fine a se stessa o essere l'inizio della navigazione vera e propria, verso lo stato di:

• **DETERMINAZIONE PUNTO ROBOT.** E' uno stato complesso costituito da:

a) **SCELTA MARKER:** qui si determinano i marker necessari al calcolo del punto robot e vi si resta fino a quando si sono ottenuti tutti i dati riguardanti questi marker. Si esce verso :

- 1) **ACQUISIZIONE POSIZIONE MARKER** se bisogna acquisire dei dati mancanti;
- 2) **CALCOLO PUNTO ROBOT** se si sono ottenuti i dati dell'ultimo marker necessario alla determinazione;
- 3) **ERRORE NAV** se non vengono trovati i dati di un marker di interesse.

b) **ACQUISIZIONE POSIZIONE MARKER:** durante la permanenza in questo stato si ricevono i dati dal sistema di Visione; si esce verso:

- 1) **SCELTA MARKER** quando e' terminata correttamente l'acquisizione dei dati relativi ai marker richiesti;
- 2) **ERRORE NAV** se si verificano anomalie. Si puo' rientrare con comandi di I Recovery.

c) **CALCOLO PUNTO ROBOT:** sulla base dei dati acquisiti esegue i calcoli di triangolazione necessari; si esce verso:

- 1) **ERRORE NAV** se il punto non e' determinabile (es. non visibile);
- 2) **GESTIONE SCOSTAMENTI** o **ATTESA COMANDO NAV** se la determinazione del punto robot e' andata a buon fine, nei due casi, rispettivamente, di percorrenza tratta o sola determinazione del punto robot.

d) **ERRORE NAV:** gestisce le condizioni anomale verso del sistema di Navigazione. Si esce verso lo stato di **GESTIONE ANOMALIE**.

STD SOTTOSISTEMA NAVIGAZIONE

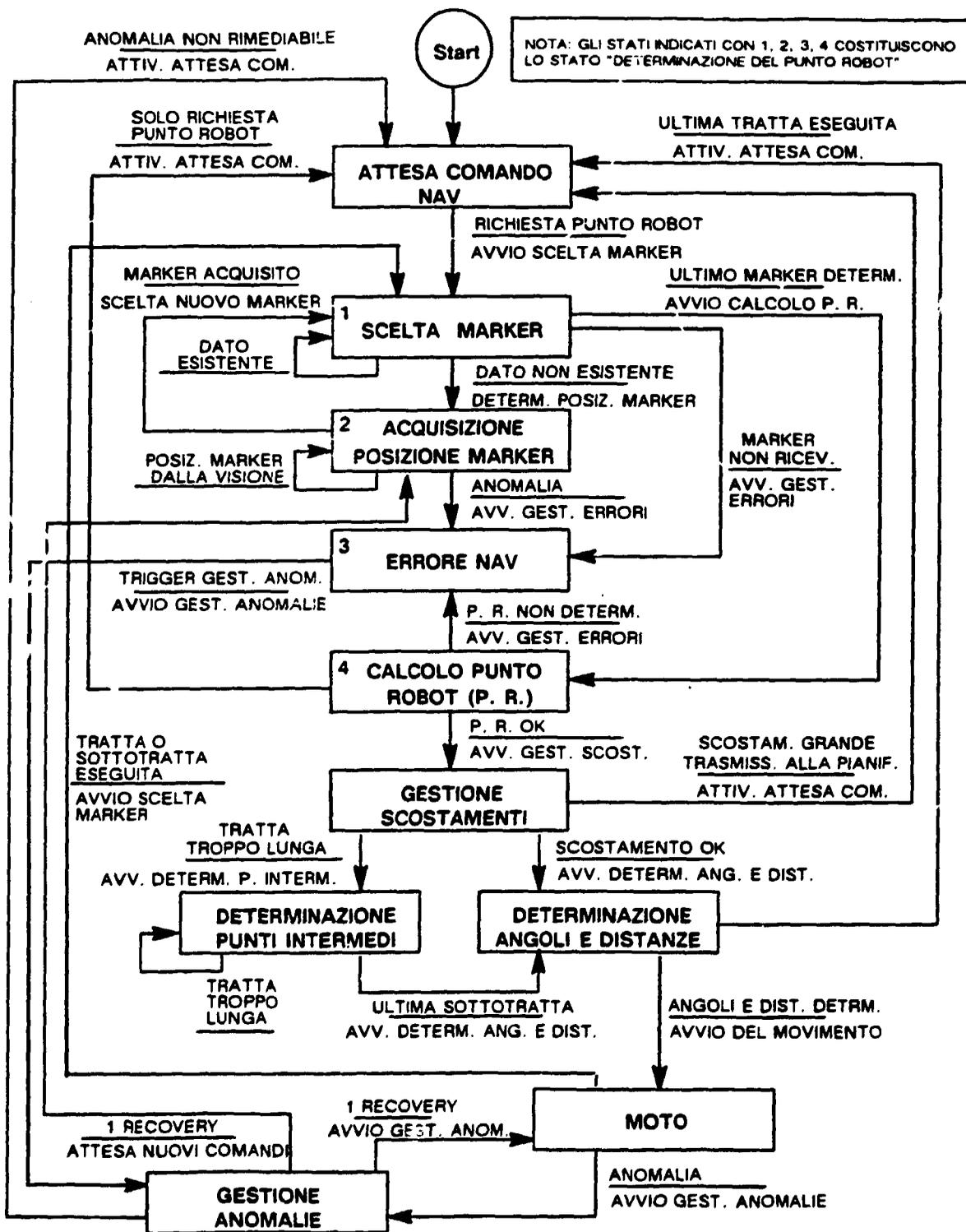


Figura 3.2

• **GESTIONE SCOSTAMENTI.** In questo stato viene calcolato lo scostamento tra la posizione attuale e quella teorica calcolata della tratta. Si esce verso gli stati di:

- a) **DETERMINAZIONE ANGOLI e DISTANZE** se lo scostamento e' piccolo;
- b) **ATTESA COMANDO NAV**, se lo scostamento e' grande. In questo caso viene avvertito il Pianificatore che dovra' fare un nuovo piano.
- c) **DETERMINAZIONE PUNTI INTERMEDI** se la tratta e' troppo lunga ed occorre una ulteriore suddivisione.

• **DETERMINAZIONE PUNTI INTERMEDI.** In questo stato vengono calcolate le tratte intermedie all'interno della spezzata di percorso in esame. Quando si e' calcolata l'ultima tratta, si esce verso lo stato di:

• **DETERMINAZIONE ANGOLI E DISTANZE.** In questo stato vengono determinati i comandi di alto livello da inviare al sottosistema di Locomozione e viene controllato se l'ultima sottotratta sia stata percorsa. Si esce verso gli stati di:

- a) **MOTO** con i comandi per il sottosistema di Locomozione;
- b) **ATTESA COMANDO NAV** dopo l'esecuzione dell'ultima tratta.

• **MOTO.** In questo stato vengono trasmessi i comandi di alto livello alla locomozione. Si esce verso gli stati di:

- a) **DETERMINAZIONE PUNTO ROBOT (SCELTA MARKER)** se la tratta o la sottotratta e' stata percorsa;
- b) **GESTIONE ANOMALIE** se si sono verificate anomalie.

• **GESTIONE ANOMALIE.** In questo stato vengono gestite le situazioni di errore. Si esce verso lo stato di:

- a) **ATTESA COMANDO** se l'anomalia non puo' essere gestita. In questo caso viene avvertito il sottosistema di Supervisione il quale provvedera' al Recovery di secondo livello;
- b) **ACQUISIZIONE POSIZIONE MARKER e MOTO** per tentare un nuovo punto robot ed un successivo movimento (I Recovery).

REQUISITI

Associare alle informazioni relative alla posizione del robot una valutazione della incertezza nella misurazione che consegue da:

- Errori del sottosistema di Visione nella determinazione delle distanze e degli angoli;
- Errori del sottosistema di Locomozione nelle distanze effettivamente percorse;
- Errori dovuti alla geometria dei marker utilizzati per il rilevamento della posizione.

IMPLEMENTAZIONE HW/SW:

- Computazione algoritmica sequenziale;
- Computazione algoritmica parallela;
- Elaborazione simbolica della conoscenza;
- Metodi inferenziali simbolici;
- Reti neurali.

4 - SOTTOSISTEMA DI VISIONE

DEFINIZIONE: Determina l'angolo, la distanza e gli identificativi (ID) dei marker riconosciuti.

FUNZIONI:

- Ricerca e riconoscimento dei marker nello spazio circostante (RICERCA E RICONOSC MARKERS);
- Determinazione dell'angolo e della distanza dei marker (DETERMINAZ ANGOLI E DISTANZE);
- Controllo dei movimenti della telecamera (CONTROLLO TELECAMERA);
- Gestione delle condizioni di errore interne ed esterne (GESTIONE ERRORI).
- Controllo interno del sottosistema (CONTROLLO VISIONE).

Il sottosistema di Visione si interfaccia con: Navigazione.

DATI IN INPUT (figura 4.1):

- Dal sottosistema di Navigazione:
 - ID del marker da cercare e settore angolare di ricerca (ID Deltalfa);
 - Dati di I Recovery (1 RECOVERY_4).

DATI IN OUTPUT (figura 4.1):

- Al sottosistema di Navigazione:
 - Angolo (Alfaj);
 - Distanza (acquisita tramite AutoFocus (AF) o Ultra Suoni (US)) (Dj);
 - ID dei marker riconosciuti (IDj);
 - Codici di errore (CODICE_ERRORI).

SEGNALI DI CONTROLLO(figura 4.1):

- Dalla Navigazione:
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (AVVIAMENTO VISIONE).
- Alla Navigazione:
 - segnale di JOB EXECUTED (4_JOB EXECUTED).

FLUSSO DEI DATI INTERNI (figura 4.1):

- da RICERCA E RICONOSCIMENTO MARKERS a DETERMINAZIONE ANGOLI E DISTANZE coordinate del j-esimo marker (X_j) e identità del marker riconosciuto (ID_j);
- da RICERCA E RICONOSCIMENTO MARKERS a CONTROLLO TELECAMERA lunghezza focale (FZ) ed angoli per l'orientamento della telecamera ($BETA_R$);
- da DETERMINAZIONE ANGOLI E DISTANZE a GESTIONE ERRORI errore (CEDAD);
- da CONTROLLO TELECAMERA a RICERCA E RICONOSCIMENTO MARKERS inquadratura ripresa dalla telecamera (IMG TV);
- da CONTROLLO TELECAMERA a DETERMINAZIONE ANGOLI E DISTANZE orientazione telecamera (BETA) e distanza (DIST)
- da CONTROLLO TELECAMERA a GESTIONE ERRORI errore di gestione (CECT)

FLUSSO DEI CONTROLLI INTERNI (figura 4.1):

- da CONTROLLO VISIONE a RICERCA E RICONOSCIMENTO MARKER abilitazione (A/D1);
- da CONTROLLO VISIONE a DETERMINAZIONE ANGOLI E DISTANZE abilitazione (A/D2);
- da RICERCA E RICONOSCIMENTO MARKERS a DETERMINAZIONE ANGOLI E DISTANZE abilitazione (A/D3);
- da RICERCA E RICONOSCIMENTO MARKERS a GESTIONE ERRORI abilitazione (A/D4).

STATI DI TRANSIZIONE (figura 4.2):

• **ATTESA COMANDO VIS.** E' lo stato iniziale del sottosistema di Visione. Quando riceve il comando di ricerca di un Marker passa nello stato di :

• **ROTAZIONE e ACQUIS IMMAGINE.** In questo stato vengono inviati i comandi alla telecamera e viene acquisita l'immagine; si esce verso gli stati di:

- 1) **ESAME IMMAGINE** una volta acquisita un'immagine,
- 2) **ERRORE VIS** in caso di anomalia o se non ha trovato il marker richiesto su 360 gradi.

• **ESAME IMMAGINE:** fa un primo preprocessing dell'immagine cercando candidati per il marker da trovare; si esce verso:

- 1) **RICONOSCIMENTO MARKER** se ha trovato N possibili marker,
- 2) **ROTAZIONE e ACQUIS IMMAGINE** se non ha trovato candidati.

DFD SOTTOSISTEMA VISIONE

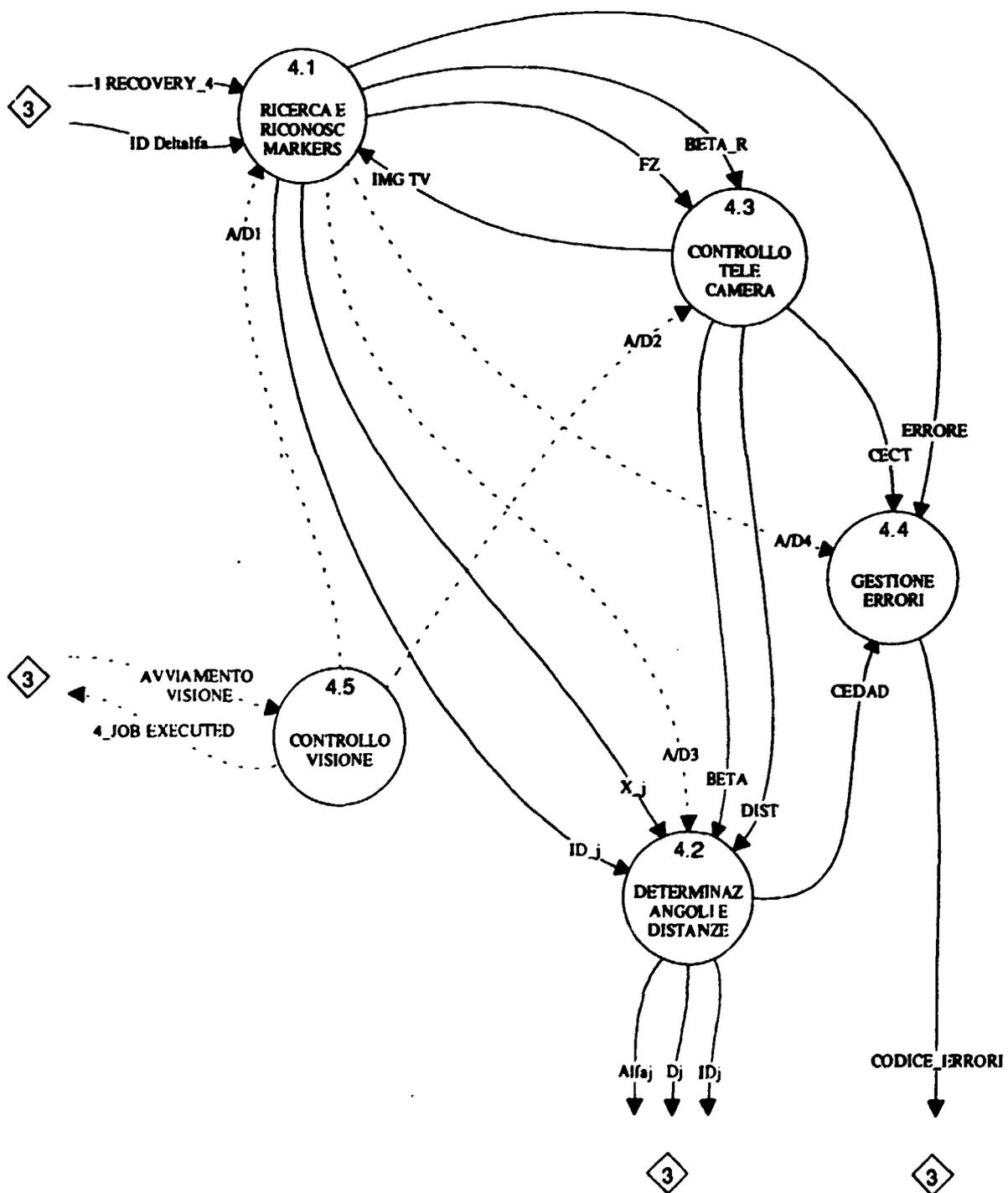


Figura 4.1

STD SOTTOSISTEMA VISIONE

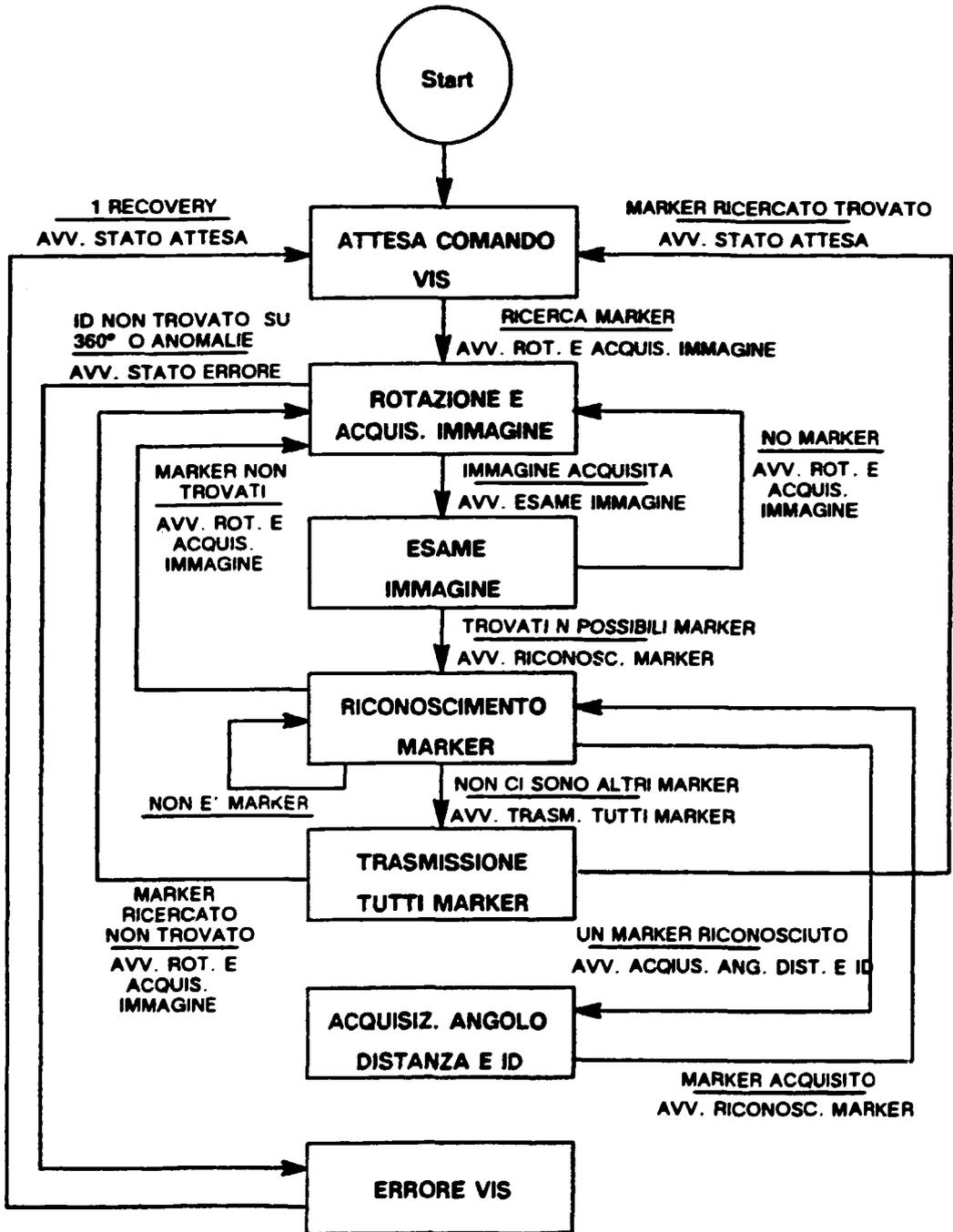


Figura 4.2

• **RICONOSCIMENTO MARKER:** stato che fa un loop sugli N candidati passatigli dallo stato precedente; si esce verso:

- 1) **ACQUISIZIONE ANGOLO, DISTANZA e ID** se riconosce il candidato come marker;
- 2) **TRASMISSIONE TUTTI MARKER** se ha terminato l'analisi dei candidati;
- 3) **ROTAZIONE e ACQUIS MARKER** se non ha trovato neanche un marker.

• **ACQUISIZIONE ANGOLO DISTANZA e ID:** acquisisce i valori dell'angolo, della distanza (autofocus o ultrasuoni) e l'ID del marker riconosciuto; si esce verso:

- 1) **RICONOSCIMENTO MARKER** una volta acquisito il Marker

• **TRASMISSIONE TUTTI MARKER:** trasmette alla Navigazione i dati di tutti i marker riconosciuti (con o senza quello richiesto); si esce verso:

- 1) **ATTESA COMANDO VIS** se quello richiesto e' stato effettivamente trovato;
- 2) **ROTAZIONE e ACQUIS IMMAGINE** se non e' stato trovato.

• **ERRORE VIS:** gestisce le condizioni di errore; si esce verso:

- 1) **ATTESA COMANDO VIS** dopo aver definito i dati di I Recovery.

REQUISITI:

- Accuratezza nella rilevazione angolare minore di un grado;
- Accuratezza nella rilevazione della distanza minore di 5 cm.
- Accuratezza nel riconoscimento del marker maggiore del 90%.

IMPLEMENTAZIONE HW/SW:

- Computazione algoritmica sequenziale;
- Computazione algoritmica parallela;
- Elaborazione simbolica della conoscenza;
- Metodi inferenziali simbolici;
- Reti neurali.

5 - SOTTOSISTEMA DI LOCOMOZIONE

DEFINIZIONE: Effettua il movimento del robot in base alle direttive del sottosistema di Navigazione.

FUNZIONI:

- Attuazione di uno spostamento in base alle direttive provenienti dal sottosistema di Navigazione (ATTUAZIONE SPOSTAMENTI);
- Rilevazione e gestione di eventuali condizioni di errore dagli attuatori (GESTIONE ERRORI);
- Controllo interno del sottosistema (CONTROLLO LOCOMOZIONE).

Il sottosistema di Locomozione si interfaccia con: Navigazione.

DATI IN INPUT (figura 5.1):

- Da sottosistema di Navigazione:
 - Distanza da percorrere e direzione (Betar);
 - Dati di I Recovery (1 RECOVERY_5).

DATI IN OUTPUT (figura 5.1):

- Al sottosistema di Navigazione:
 - Codice di errore (CODICI_DI_ERRORI).

SEGNALI DI CONTROLLO (figura 5.1):

- Dalla Navigazione:
 - Segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto del sistema (AVVIAMENTO LOCOMOZ).
- Alla Navigazione:
 - Segnale di JOB EXECUTED (5_JOB EXECUTED).

DFD SOTTOSISTEMA LOCOMOZIONE

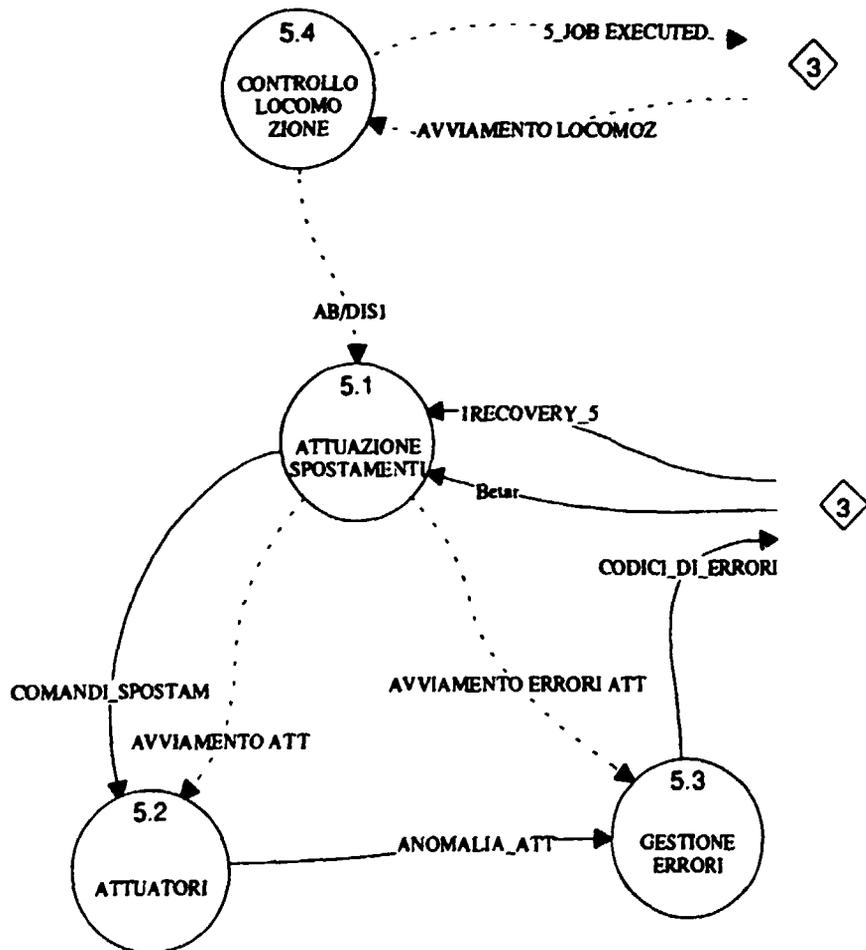


Figura 5.1

FLUSSO DEI DATI INTERNI (figura 5.1):

- da ATTUAZIONE SPOSTAMENTI ad ATTUATORI segnali di comando per gli attuatori (COMANDI_SPOSTAM);
- da ATTUATORI a GESTIONE ERRORI anomalie degli attuatori (ANOMALIA_ATT).

FLUSSO DEI CONTROLLI INTERNI (figura 5.1):

- da CONTROLLO LOCOMOZIONE a ATTUAZIONE SPOSTAMENTI abilitazione (AB/DIS1);
- da ATTUAZIONE SPOSTAMENTI ad ATTUATORI abilitazione (AVVIAMENTO ATT);
- da ATTUAZIONE SPOSTAMENTI a GESTIONE ERRORI abilitazione (AVVIAMENTO ERRORI ATT).

STATI DI TRANSIZIONE (figura 5.2):

- **ATTESA COMANDO LOCOMOZIONE.** E' lo stato iniziale del sottosistema di Locomozione; ne esce quando riceve, dal sottosistema di Navigazione, il comando di alto livello che indica la direzione e l'ampiezza dello spostamento da compiere. Da qui si passa nello stato di:
- **TRADUZIONE COMANDO NAV.** In questo stato il sistema traduce il comando di alto livello ricevuto dal sottosistema di Navigazione nel linguaggio macchina proprio degli attuatori. Esce, una volta tradotto il comando, per passare nello stato di :
- **MOVIMENTO.** In questo stato il comando di basso livello viene eseguito dai servomotori, si esce da questo in tre possibili modi verso tre diversi stati:
 - a) Se il comando di alto livello, ricevuto dalla Navigazione, e' tradotto in una sequenza di comandi di basso livello allora, dopo averne eseguito uno, si ritorna nello stato di TRADUZIONE COMANDO NAV per ricevere il successivo comando di alto livello, fino alla fine della sequenza; [nota: eventualmente il loop puo' essere eseguito tutto all'interno dello stato di MOVIMENTO senza uscirne];
 - b) Se il comando eseguito e' l'ultimo (vedi punto a) si esce verso lo stato di ATTESA COMANDO LOCOMOZIONE chiudendo il ciclo;
 - c) Se si verifica una anomalia si esce verso lo stato di ERRORE LOC

STD SOTTOSISTEMA LOCOMOZIONE

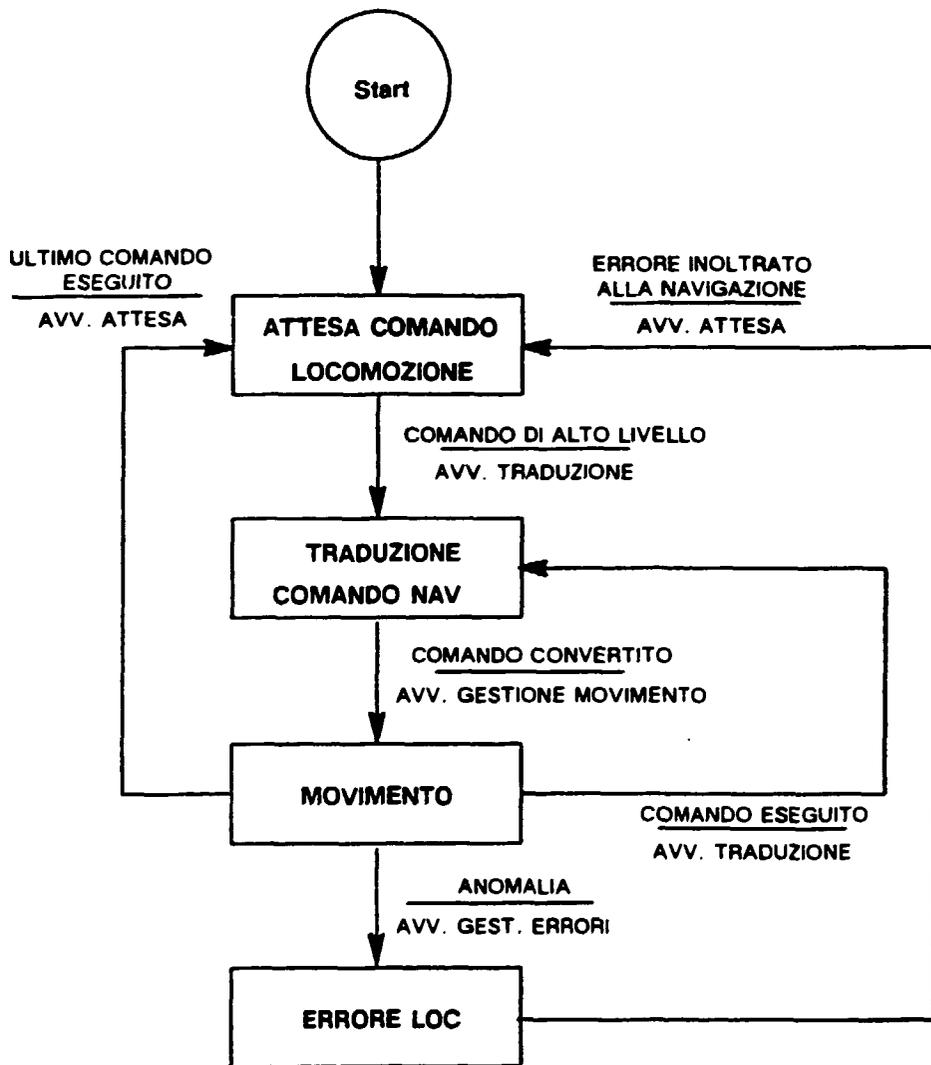


Figura 5.2

• **ERRORE LOC:** situazione di errore. Si esce comunicando al sottosistema di Navigazione il codice connesso alla anomalia riscontrata tornando nello stato di **ATTESA COMANDO LOCOMOZIONE**.

REQUISITI:

- Errore +/- 10% per la distanza percorsa;
- Errore +/- 6 gradi per gli angoli;
- Peso totale trasportato ~80kg.

IMPLEMENTAZIONE HW/SW: da determinare in base ad indagine di mercato.

6 - SOTTOSISTEMA DI DATA BASE

DEFINIZIONE: Descrive in modo formale l'ambiente.

FUNZIONI:

- Rappresentazione geometrica dell'ambiente tramite memorizzazione delle coordinate dei marker e dei loro identificatori (DATA BASE MANAGEMENT SYSTEM);
- Controllo interno sottosistema (CONTROLLO DB).

Il sottosistema di Data-Base si interfaccia con: Pianificazione, Navigazione.

DATI IN INPUT (FIGURA 6.1):

- L'aggiornamento del Data Base viene effettuato in modo "off-line" dall'operatore (AGGIORN_OFF_LINE).
- Dal sottosistema di Pianificazione:
 - Caratteristiche dell'ambiente (CARAT_AMB).
- Dal sottosistema di Navigazione:
 - ID del marker da cercare (ID MARKER).

DATI IN OUTPUT (figura 6.1):

- Al sottosistema di Pianificazione:
 - Informazioni sulla geometria dell'ambiente (DESCRIZIONE AMBIENTE).
- Al sottosistema di Navigazione:
 - Coordinate dei marker (XY MARKER).

SEGNALI DI CONTROLLO (figura 6.1):

- Dalla Navigazione:
 - segnale di INFO REQUEST (3_INFO REQUEST).
- Dalla Pianificazione:
 - segnale di INFO REQUEST (2_INFO REQUEST).

- Alla Navigazione:
 - JOB EXECUTED (6JOB EXECUTED).
- Alla Pianificazione:
 - JOB EXECUTED (6_JOB EXECUTED).

REQUISITI:

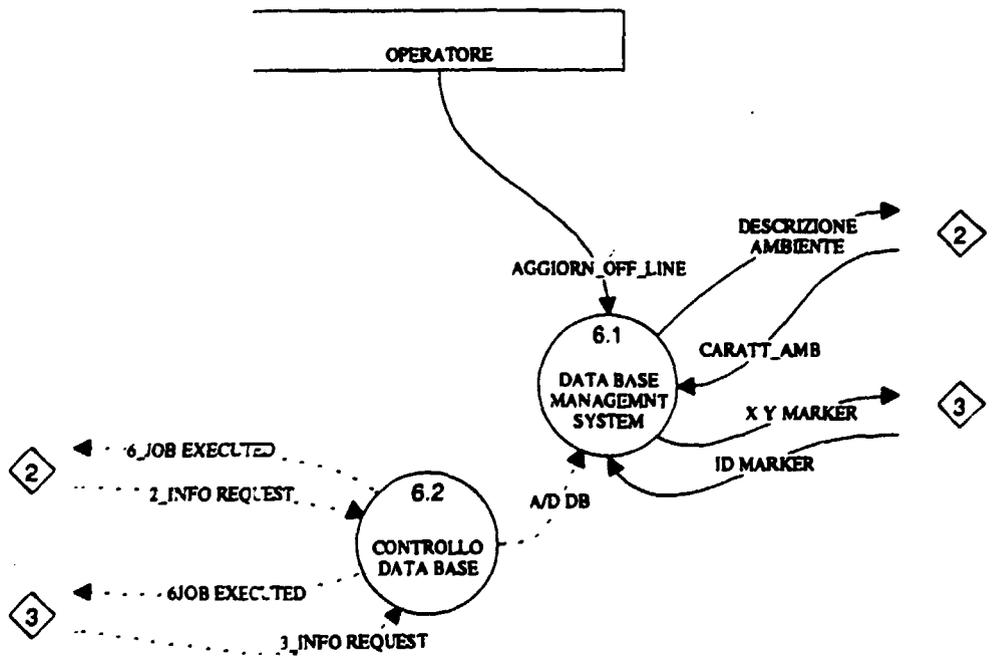
- Facilita' e velocita' di accesso alle informazioni.

IMPLEMENTAZIONE HW/SW:

- Strutture adeguate alle informazioni;
- Data-Base tradizionali o relazionali.

NOTA BENE:

Per il sottosistema di Data Base non si e' ritenuto opportuno realizzare lo STD, in quanto poco significativo.



DFD SOTTOSISTEMA DATABASE

Figura 6.1

7 - SOTTOSISTEMA DI INTERFACCIA UOMO-MACCHINA (MMI)

DEFINIZIONE: Interfaccia l'operatore con il sistema robot.

FUNZIONI:

- **Acquisizione dei comandi dell'operatore (ACQUISIZIONE COMANDI);**
- **Visualizzazione e registrazione dei messaggi di log e degli allarmi (VISUALIZZ LOG);**
- **Rappresentazione grafica dell'evoluzione temporale del sistema (RAPPRESENT GRAFICA);**
- **Controllo interno del sottosistema (CONTROLLO MMI).**

Il sottosistema di MMI si interfaccia con: Operatore, Supervisione.

DATI IN INPUT (figura 7.1):

- **Dall'operatore:**
 - **Comandi (COMANDO OPERATORE).**
- **Dal sottosistema di Supervisione:**
 - **Estratto continuo on-line della registrazione delle informazioni di stato (le grandezze da presentare sono da definire) (LOG_INFO ON_LINE).**
 - **Informazioni specifiche richieste dall'operatore (INFO_SPEC).**

DATI IN OUTPUT (figura 7.1):

- **All'operatore:**
 - **Informazioni di stato (grafiche, alfanumeriche e sonore) (INFO_DI_STATO);**
 - **Codici di errore (COD_ERR, LOG_INFO_DI_STATO).**
- **Al sottosistema di Supervisione:**
 - **Comandi dell'operatore (COMANDO).**

DFD SOTTOSISTEMA MMI

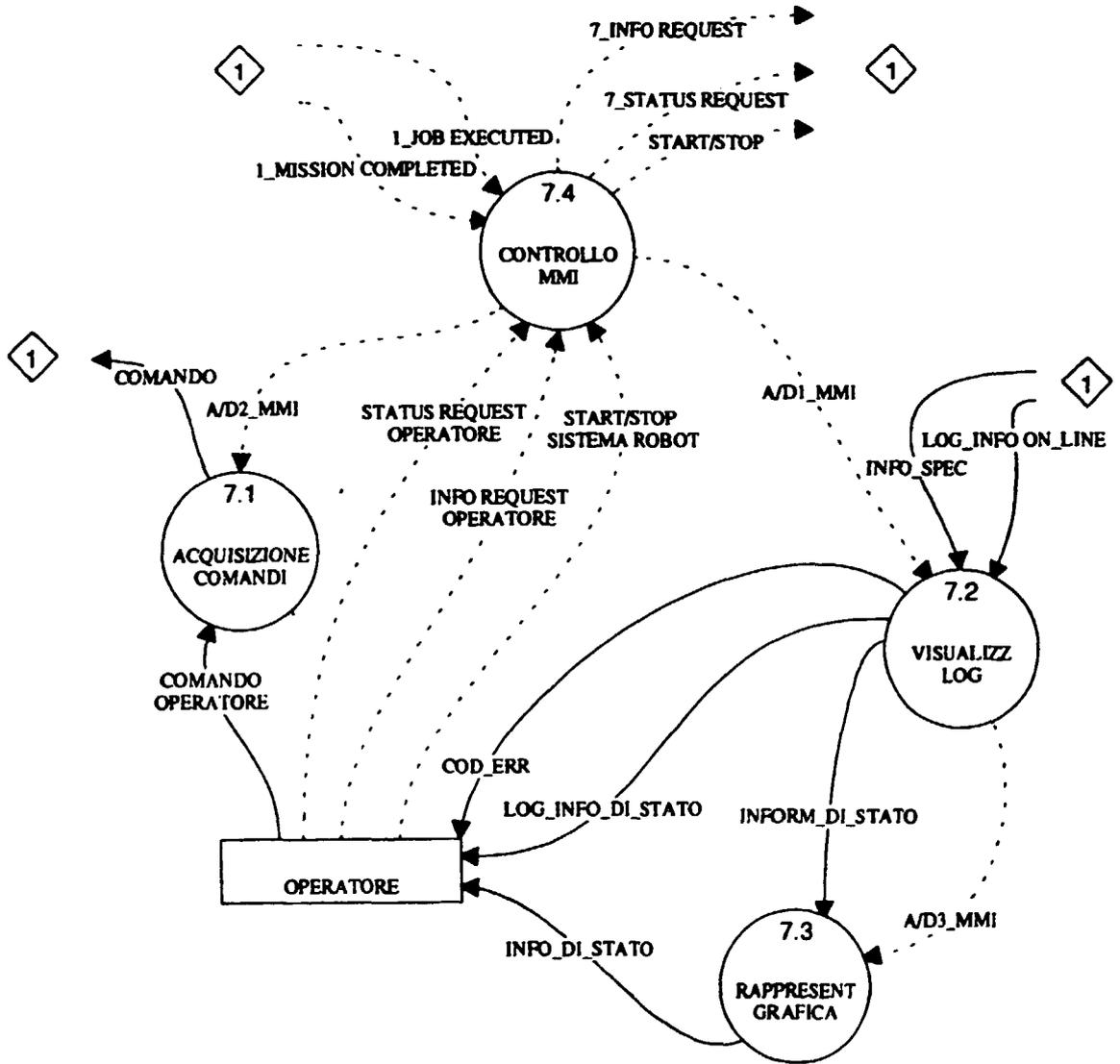


Figura 7.1

SEGNALI DI CONTROLLO (FIGURA 7.1):

- **Dall' Operatore:**
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto del robot (START/STOP SISTEMA ROBOT);
 - segnale di INFO REQUEST (INFO REQUEST OPERATORE);
 - segnale di STATUS REQUEST per log non chiaro (STATUS REQUEST OPERATORE).
- **Dalla Supervisione:**
 - segnale di JOB EXECUTED per fine missione (1_MISSION COMPLETED);
 - segnale di JOB EXECUTED (1_JOB EXECUTED).
- **Alla Supervisione:**
 - segnale di START/STOP per l'avviamento o l'arresto (START/STOP);
 - segnale di INFO REQUEST (7_INFO REQUEST);
 - segnale di STATUS REQUEST se il log non e' esaustivo (7_STATUS REQUEST).

FLUSSO DEI DATI INTERNI (figura 7.1):

- da VISUAL LOG a RAPPRES GRAFICA informazioni di stato (INFORM_DI_STATO);
- da VISUAL LOG a OPERATORE informazioni di log (LOG_INFO_DI_STATO);
- da RAPPRESENT GRAFICA a OPERATORE informazioni (INFO_DI_STATO).

FLUSSO DEI CONTROLLI INTERNI (figura 7.1):

- da CONTROLLO MMI a ACQUISIZ COMANDI abilitazione (A/D2_MMI);
- da CONTROLLO MMI a VISUAL LOG abilitazione (A/D1_MMI);
- da VISUAL LOG a RAPPRESENT GRAFICA abilitazione (A/D3_MMI);

STATI DI TRANSIZIONE (FIGURA 7.2):

- **INIZIALIZZAZIONE ROBERT.** E' lo stato iniziale del sottosistema MMI, viene attivato alla accensione del sistema robotico. Al termine dell'inizializzazione si esce verso gli stati di:
- **ATTESA INFO & COMANDI.** In questo stato vengono ricevuti i comandi dell'operatore e le informazioni di stato del sistema; si esce verso:

STD SOTTOSISTEMA MMI

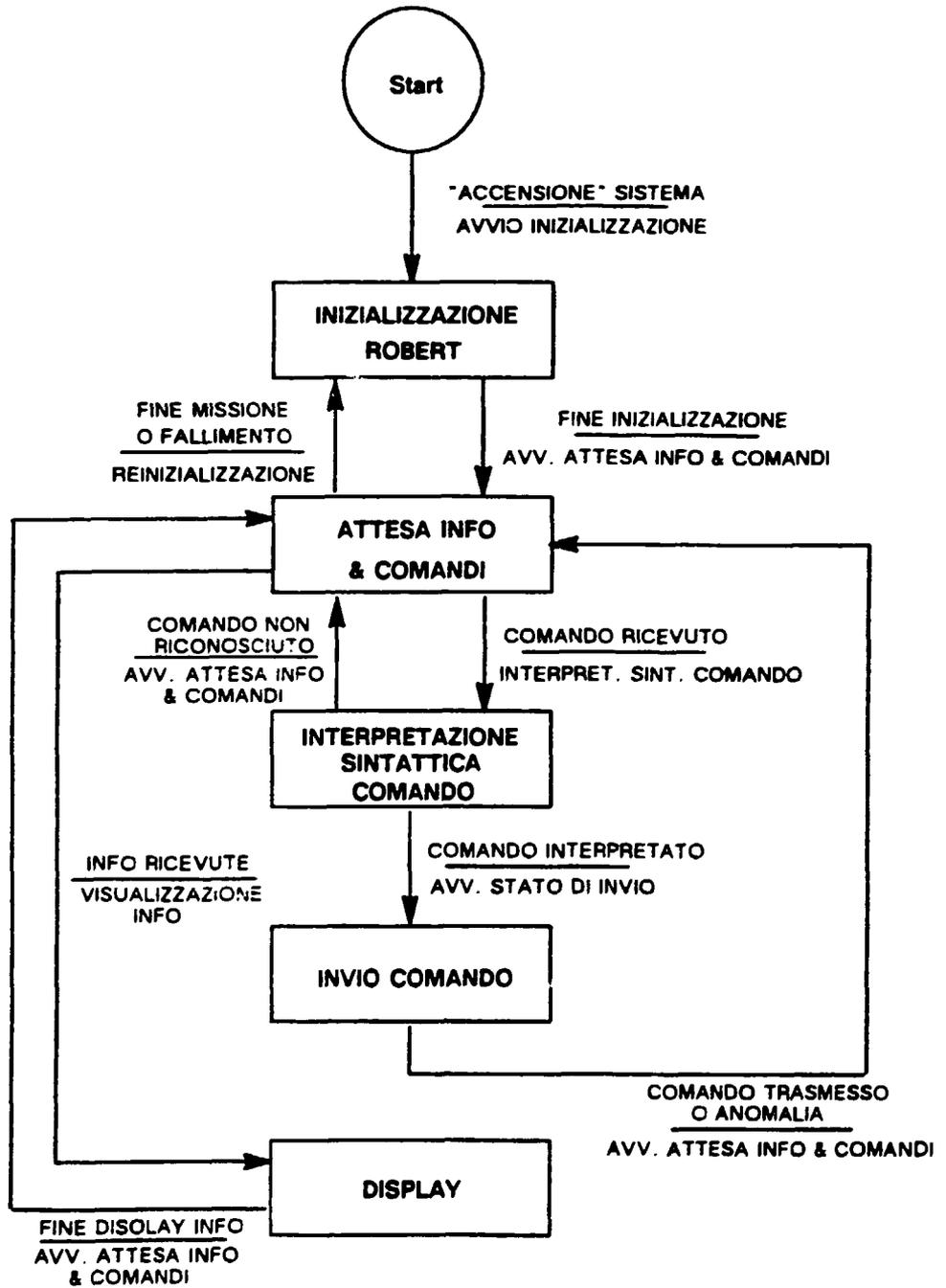


Figura 7.2

1) **INTERPRETAZIONE SINTATTICA COMANDO** quando giunge un comando dallo operatore;

2) **DISPLAY** quando giungano informazioni da mostrare;

3) **INIZIALIZZAZIONE** nel caso in cui la missione sia completata o abortita e il sistema si debba, quindi, reinizializzare.

• **INTERPRETAZIONE SINTATTICA COMANDO.** In questo stato vengono interpretati i comandi dell'operatore dal punto di vista sintattico; si esce verso gli stati di:

1) **ATTESA INFO & COMANDI** se il comando non e' riconosciuto;

2) **INVIO COMANDO** se il comando viene correttamente interpretato.

• **INVIO COMANDO.** In questo stato viene trasmesso il comando dell'operatore al sottosistema di Supervisione. Sia che il comando sia trasmesso correttamente, sia che si verifichi un'anomalia nella trasmissione, si esce verso lo stato di **ATTESA INFO & COMANDI**.

• **DISPLAY.** In questo stato vengono presentate le informazioni all'operatore, sia in forma grafica che alfanumerica. Una volta presentata l'informazione si esce verso lo stato di **ATTESA INFO & COMANDI**.

REQUISITI:

- User-friendly (amichevole);
- Real-time;
- Ergonomia;
- Fusione di informazioni grafiche, alfanumeriche e immagini video;
- Utilizzo di finestre;
- Possibilita' di utilizzo di altri comandi I/O.

IMPLEMENTAZIONE HW/SW:

- Workstation grafica, mouse, tastiera, canale di I/O vocale;