

---

# Robotică / Bazele roboticii

*note de curs*

---

Prof. univ. dr. ing. Mircea NIȚULESCU

---

**Prof. univ. dr. ing. Mircea NIȚULESCU**

**Departamentul de Mecatronică și Robotică**

**E-mail: [nitulescu@robotics.ucv.ro](mailto:nitulescu@robotics.ucv.ro)**

**Tel: 0745 902 910**

---

# BIBLIOGRAFIE

---

1. Groover, M., *Automation, Production systems and Computer Integrated Manufacturing*, Ed. Prentice-Hall, 1987.
2. Ivănescu, M. - *Roboți industriali*, Ed. Universitaria Craiova, 1994
3. Ivănescu, M. - *Sisteme de conducere a roboților*, Ed. Scrisul Românesc, Craiova, 2007.
4. Klafter, R., Chmielewski, T., *Robotic engineering, an integrated approach*, Ed. Prentice Hall, 1989.
5. Mair, M. G., *Industrial robotics*, Ed. Prentice Hall International Inc., 1988.
6. Nof , Y. S., *Handbook of industrial robotics*, Ed. Krieger Publishing Company, 1992.
7. Nițulescu, M., *Sisteme robotice educaționale*, Ed. Sitech, 1999.
8. Nițulescu, M., *Sisteme robotice cu capacitate de navigație*, Ed. Universitaria, 2002.
9. Sandler, B., *Robotics, designing the mechanisms for automated machinery*, Ed. Prentice Hall, 1991.
10. Warnock, I., *Programmable controllers, operation and application*, Ed. Prentice Hall International Inc., 1988.

## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii**
- 1.2 Geneza roboticii**
- 1.3 Definiții oficiale**
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică**
- 1.5 Clasificarea roboților**
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice**
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali**
- 1.8 SRR și IFR**
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali**
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor**

# Capitolul 1. Aspecte introductive

---

- **Robotica** este o etapă naturală în procesul evolutiv al ingerieriei moderne.
- Numai după anii 1970 au fost dirijate eforturi de cercetare importante către aceste sofisticate dispozitive controlate cu calculatorul:
  - **Dezvoltarea calculatorului**, apoi a microcomputerului și a computerului înglobat într-un singur cip
  - Progresele generale ale **programării și tehnologiei informației**
  - **Aspectele economice** ale piețelor mondiale, din ce în ce mai concurențiale, care au solicitat și impus noi tehnologii de fabricație
- Privind în perspectiva secolului al XXI-lea și având în vedere aşteptatele progrese tehnico-științifice, se poate aprecia cu certitudine că **viitorul roboticii este extrem de promițător, plin de potențial și perspective**.

## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii**
- 1.2 Geneza roboticii**
- 1.3 Definiții oficiale**
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică**
- 1.5 Clasificarea roboților**
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice**
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali**
- 1.8 SRR și IFR**
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali**
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor**

## 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii

---

Actuali roboți sunt rezultatul unei lungi perioade de acumulări cantitative și calitative ale societății umane, în toate ramurile științei și tehnicii.

**Motorul acestei evoluții a roboticii a fost și rămâne:**

- **Dezvoltarea continuă a cerinței sociale, sub toate aspectele, cantitative și calitative**
- **Necesitatea eliberării omului din activitățile cotidiene excesiv repetitive, care utilizează mult prea puțin inteligența sa**
- **Obligativitatea eliminării prezenței omului din medii nocive pentru sănătatea sa**

Câteva momente remarcabile din istorie, care au contribuit decisiv la geneza roboticii de astăzi :

## 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii

---

### Înainte de secolul al XVIII-lea :

- **Tratatul despre pneumatică**, care a existat în biblioteca din Alexandria (Egipt) acum mai bine de 2.000 de ani, î.e.n.
- **Dispozitivele și mai apoi mașinile din industria textilă**
- **Dispozitivele și mai apoi mașinile folosite în navigație**
- **Armele și instrumentele războiului**
- 1775 - prima mașină orizontală de găurit și alezat țevile de tun (John Wilkinson, UK)
- 1784 - inventarea ciocanului mecanic acționat de abur
- **1788 - inventarea mașinii cu abur de către James Watt ceea ce marchează începutul revoluției industriale și înlocuirea muncii fizice cu lucrul mecanic produs de mașini**
- 1795 - presa cu transmisie hidraulică
- 1797 - primul strung cu cărucior și păpușă mobilă

# 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii

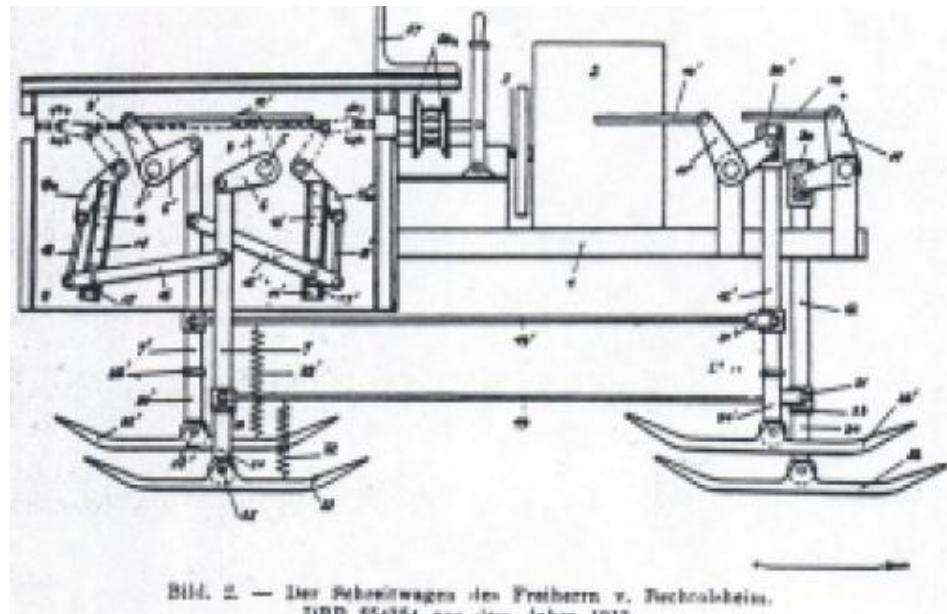
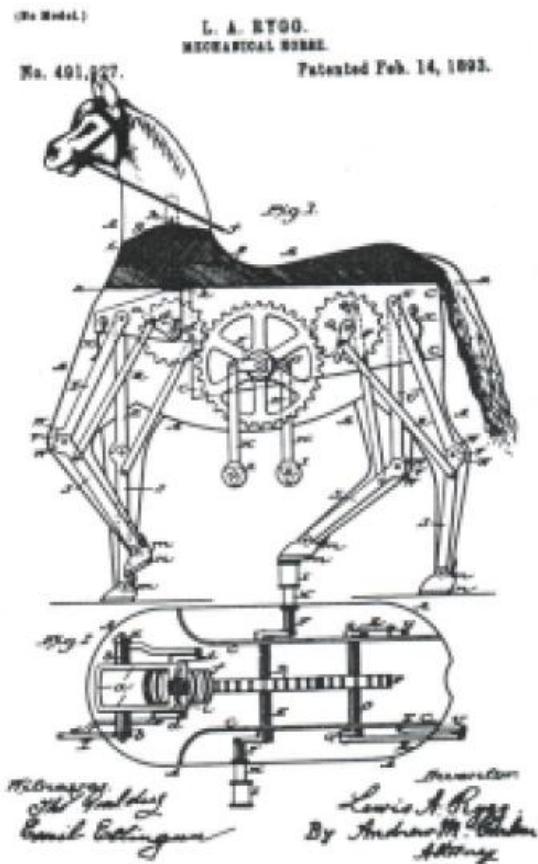
## Secolul al XIX-lea :

- 1804 - inventarea cartelelor perforate, primul suport de memorie externă, gândit inițial pentru mașinile de țesut (Joseph Marie Jacquard, Franța)
- 1807 - brevet pentru motorul cu un cilindru vertical, alimentat cu gaz și aprindere prin scânteie electrică, precursorul motorizării autovehiculelor de astăzi
- 1821 - primul sistem civil hidraulic de apă sub presiune pentru alimentarea unui oraș (Londra, Anglia)
- 1822 - prima mașină pentru calcule de navigație, astronomie și asigurări sociale, care a introdus principiile unui calculator modern prin soluții exclusiv mecanice (Charles Babbage, SUA)
- 1829 - compresorul de aer (Anglia)
- 1834 - primul motor electric (Moritz Iacobi)
- 1847 - algebra binară (George Boole)
- 1850 - descoperirea reacției negative (John Maxwell)
- 1872 - se inventează motorul cu benzină și supape laterale (cunoscut ca motorul Otto)
- 1873 - primul strung programabil (Christopher Spencer, SUA), la care instrucțiunile erau memorate prin came ajustabile
- 1870 - inventarea motorului de curent continuu
- 1875 - primele aplicații mecanice (pianole și "cutii muzicale") comandate prin came de o informație înscrisă pe un suport de memorie de tip cartelă
- 1887 - motorul Daimler cu ardere internă (2 cilindri în V, capacitate cilindrică 1,5 litri, putere 7,5 CP)
- 1889 - inventarea motorului electric de curent alternativ
- Permanent de-a lungul secolului al XIX-lea - progresele științifice extraordinare în domeniul electricității datorită unor mari savanți Galvani, Volta, Faraday, Henry, etc.

## Notă :

Caracteristica esențială a sistemelor tehnice realizate până în jurul anilor 1900 este faptul că acestea erau **pur mecanice** (Figura 1.1). Mecanica "pură" este cea care a permis realizarea unor adevărate bijuterii tehnice, cum ar fi mașina de scris clasică sau mașina de calcul a lui Charles Babbage, precursorul genial al calculatorului electronic. În paralel s-au evidențiat și limitele evidente ale sistemelor tehnice "pur mecanice". Germanii unei noi ere au apărut odată cu progresele științifice din domeniul electricității. Inventarea motoarelor electrice va permite saltul către sistemele mecanice cu acționare electrică la începutul secolului XX.

# 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii



**Fig. 1.1** Brevete acordate pentru un "cal mecanic" (1893, Anglia) și pentru un "vehicul pășitor" (1913, Anglia).

# 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii

---

## Secolul al XX-lea :

- 1906 - inventarea tubului electronic
- **1912 - primele linii de asamblare ale automobilelor (Ford, SUA)**
- 1938 - inventarea unei structuri multiplu-articulată pentru vopsirea pieselor (Willard Pollard, SUA)
- 1946 - ENIAC, primul calculator electronic (Anglia)
- 1947 - prima mașină cu comandă numerică (Massachusetts Institute of Technology, SUA)
- **1947 - primul manipulator electric condus prin teleoperare**
- 1948 - inventarea tranzistorului cu germaniu
- 1952 - inventarea tranzistorului cu siliciu
- 1953 - prima mașină de frezat cu comandă numerică, realizată la MIT (Massachusetts Institute of Technology) prin folosirea unui calculator. Aceasta poate fi considerată succesoarea mașinilor de țesut cu cartele perforate (Jacquard) și a pianolelor mecanice. Ulterior se va dezvolta generația de mașini-unelte DNC (Direct Numerically Controlled Machine), când un calculator conducea un grup de mașini-unelte, iar apoi generația actuală CNC (Computer Numerically Controlled Machine), când fiecare mașină-unealtă are încorporat un calculator
- **1954 - primul robot programabil cu memorie și control PCP (brevet George Devol, SUA)**
- 1958 - inventarea tiristorului
- 1959 - nașterea microelectronicii, odată cu realizarea primului circuit integrat de către compania americană TEXAS INSTRUMENTS

## 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii

---

### Secolul al XX-lea (continuare) :

- **1960 - George Devol (SUA) vinde 40 de brevete firmei CONDEC (Consolidated Diesel Corporation), care începe să producă prima serie de roboți Unimate în filiala sa specializată UNIMATION Inc.**
- **1961 - primul robot industrial UNIMATE care este instalat pe o linie de montaj (General Motors, SUA)**
- **1963 - utilizarea vederii artificiale pentru conducerea unui robot**
- **1971 - se produce primul microprocesor pe 4 biți, INTEL 4004**
- **1974 - se produce primul microprocesor pe 8 biți, INTEL 8080**
- **1978 - apare primul microcontroler**
- **după anii '80 - impactul permanent al evoluțiilor calculatorului modern, al micro-electronicii, micromecanicii, nanotehnologiilor și al tehnologiei informației**
- **1981 - primul calculator personal IBM PC-XT**
- **1985 - lansarea unor sisteme software ca AUTOCAD, dBASE și a unor limbi de nivel superior ca PASCAL și C**
- **1986 - primele limbi destinate rezolvării problemelor de inteligență artificială ca LISP, PROLOG precum și primele încercări de procesare în limbaj natural**
- **1987 - lansarea calculatoarelor dotate cu hard-disk, o adevărată explozie tehnologică în domeniu**

## 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii

---

**Ulterior introducerii hard-diskului, calculatoarele au parcurs până în prezent mai multe etape într-o evoluție cu adevărat extraordinară, sub mai multe aspecte:**

- Mărirea continuă a capacitatei de stocare a memoriei interne (hard-diskurilor)
- Dezvoltarea tehniciilor de procesare în paralel
- Introducerea discurilor optice Read / Write și recent a memoriilor stick SSD, pur electronice
- Utilizarea unor procesoare din ce în ce mai performante, de până la 64 de biți
- Dezvoltarea unor noi sisteme de operare, cu performanțe superioare și creșterea spectaculoasă a vitezei de prelucrare a informației
- Extinderea posibilităților de operare grafică pe calculator și crearea unor interfețe grafice GUI (Grafical User Interface) tot mai “prietenoase”
- Dezvoltarea foarte puternică a echipamentelor periferice; imprimante, scannere, aparate foto / video digitale, echipamente multifuncționale etc.

## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii
- 1.2 Geneza roboticii
- 1.3 Definiții oficiale
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică
- 1.5 Clasificarea roboților
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali
- 1.8 SRR și IFR
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor

## 1.2 Geneza roboticii

---

- **Apariția roboților**, aşa cum s-a văzut, a fost posibilă ca urmare a unei lungi perioade de acumulări cantitative și calitative în domenii dintre cele mai diverse.
- **Robotica actuală este o știință pluridisciplinară**, care utilizează curent principii, concepte și soluții concrete oferite deopotrivă de științele ingineresti mecanice și de științele ingineresti electrice.
- **Robotica actuală este cu certitudine un domeniu de frontieră** la care concură, alături de grupul disciplinelor mecanice, într-o măsură din ce în ce mai substanțială știința calculatoarelor, electronica și electrotehnica în general.
- Aceasta înseamnă că **robotica actuală face parte din marea familie a științei sistemelor mecatronice**.

## 1.2 Geneza roboticii

---

- **Termenul robot** a fost introdus pentru prima dată în anul **1921** de către dramaturgul ceh **Karel Čapek** în drama satirică intitulată **R.U.R. (Rossum's Universal Robot)**.
- Termenul a fost inventat de către autor din cuvântul de origine slavă ***rabota*** (**muncă**).
    - Acest cuvânt a denumit în piesă niște **mașini care semănau numai oamenilor, munceau însă mult mai eficient și răspundeau perfect ordinelor ființelor umane**.
    - În viziunea autorului ceh **roboții aveau mâini și picioare, deci erau androizi**, idee preluată mai târziu și în filmul Star Wars (1977)
    - Roboții industriali de astăzi nu seamănă absolut deloc cu o ființă umană, nefiind **androizi (cu aspect uman)**.

## 1.2 Geneza roboticii



*Fig. 1.2 Roboții industriali nu sunt androizi.*

## 1.2 Geneza roboticii



**Fig. 1.3** Robotii educaționali și medicali pot avea aspect android (sau inspirat din biologie).

## 1.2 Geneza roboticii

---

- **Termenul robotică**, (**robotics** în limba engleză) a fost introdus de **Isaac Asimov**, binecunoscut autor de literatură științifico -fantastică, prin scurta sa povestire **Runaround (1942)**.
- Această lucrare este notabilă și pentru faptul că include "**cele 3 legi ale roboticii**", recunoscute și în prezent datorită aceluiași caracter vizionar:
  1. **Un robot nu poate leza un om și nu poate asista inactiv atunci când aceasta se află în primejdie**
  2. **Un robot trebuie să se supună ordinelor oamenilor, cu excepția acelora care ar încălca prima lege**
  3. **Un robot trebuie să-și protejeze propria existență, cu excepția cazurilor când ar încălca primele două legi**
- Isaac Asimov a generat **dezvoltarea inteligenței artificiale** ca o componentă importantă a roboticii în direcțiile precizate de el
  - Aceste trei legi formulate au constituit și vor trebui să constituie și în viitor o adevărată cale conducătoare în acest domeniu

## 1.2 Geneza roboticii

---

- După acceptiunea generală, "**vârsta robotului**" începe din anul **1954**, când **George Devol** a brevetat **primul manipulator cu memorie și control punct cu punct**.
  - Acest dispozitiv era capabil să execute o mișcare controlată de la un punct la altul.
- După 5 ani, firma **Planet Corporation** introduce în fabricație brevetul și **vinde primul robot**.
- În **1960**, **George Devol** vinde tot pachetul său (de cca. 40 brevete) firmei **CONDEC** (Consolidated Diesel Corporation), care începe apoi să producă **seria de roboți Unimate la noua sa sucursală specializată exclusiv pe aceste produse UNIMATION INC.**
  - Aceasta va deveni în numai 10 ani cel mai important producător de roboți din lume.
  - Proiectele inițiale dezvoltate de către firma UNIMATION îmbinău tocmai ultimele descoperiri enunțate anterior, respectiv dispozitive mecanice controlate numeric, memorarea magnetică a programelor, facilități de servocontrol și structuri mecanice articulate de tipul celor dezvoltate pentru telemanipulatoarele folosite în operarea cu substanțe radioactive.

## 1.2 Geneza roboticii

---

**Fabricarea primilor roboți a fost facilitată de rezolvarea anterioară a unor probleme tehnice și științifice:**

1. **Manipularea de la distanță a obiectelor**, rezolvată cu ajutorul mecanismelor articulate conduse de către un operator uman, denumite **telemanipulatoare** (create inițial pentru manipularea materialelor radioactive din industria nucleară)
  - 1947 - primul telemanipulator cu servo-acționare electrică, fără controlul forței de prindere.
  - 1948 - primul telemanipulator cu buclă închisă (feed-back).
  - Fabricarea telemanipulatoarelor a antrenat rezolvarea unor probleme esențiale pentru proiectarea ulterioară a roboților :
    - modelarea cu mecanisme adecvate a mișcărilor brațului și antebrațului omului (**geneza mecanismelor de poziționare ale roboților**)
    - modelarea cu mecanisme adecvate a mișcărilor specifice încheieturii mâinii omului (**geneza mecanismelor de orientare ale roboților**)
    - modelarea cu mecanisme adecvate a mișcărilor de prindere specifice degetelor mâinii omului (**geneza mecanismelor de prehensiune sau a efectelor în general**)
2. **Automatizarea mașinilor-unelte folosind comenzi numerice**. Această problemă a permis stăpânirea comenzii de tip incremental, folosită ulterior pentru poziționările de precizie, precum dezvoltarea servo-acționărilor și a senzorilor de poziție / deplasare
3. **Automatizarea calculelor și a controlului** cu ajutorul calculatoarelor electronice

## 1.2 Geneza roboticii

Câteva momente istorice din dezvoltarea ulterioară a roboticii:

- **1961 - primul robot industrial UNIMATE instalat pe o linie de montaj la General Motors.** Industria automobilului a fost o forță motrice a dezvoltării roboticii industriale.
  - Exemplu: în Germania anului 2002 erau în medie cca. 120 roboți / 10.000 angajați direct productivi, în timp ce industria automobilului beneficia de raportul 1 robot / 10 muncitori.
- **1963 - cercetătorii de la Rancho Los Amigos Hospital din California au construit Rancho Arm destinat protezării persoanelor handicapate.**
  - Robotul **Rancho Arm** avea 6 articulații, dispunea de gradele de mobilitate ale mâinii umane și a deschis drumul pentru construirea roboților antropomorfi (umanoizi sau androizi).
- La Stanford Artificial Intelligence Laboratory se realizează **robotul Stanford pentru microchirurgie**.
  - **Robotul Stanford** dispunea de 6 grade de mobilitate și era primul robot conceput pentru comanda cu calculatorul. El a fost precursorul unor roboți industriali remarcabili, precum **robotul PUMA** (Programmable Universal Manipulator for Assembly), produs în SUA, robotul cu cel mai mare succes de piață până în prezent.
- **1979 - robotul mobil Stanford Cart** a reușit prima parcurgere a unei incinte mobilate cu scaune.
  - **Robotul mobil Stanford Cart** folosea o cameră de luat vederi și își determina traiectoria pe bază de grafuri și algoritmi de căutare.
  - De fapt, primele mașini mobile reprezentative au fost însă "broaștele testoase" **Elsie și Elmer**, concepute în anul 1950 de către englezul Grey Elmer, capabile să identifice prezența unei prize electrice pentru a-și încărca bateriile.
- **1973 - realizarea primului robot humanoid** (android sau antropomorf) în mărime naturală **Wabot I** la Universitatea Waseda din Tokyo.
  - Japonezii sunt cei mai fervenți susținători ai dezvoltării unor roboți cu aspect humanoid, care să fie mai ușor acceptați de oameni ca parteneri în cele mai diferite activități.
  - Ultima creație japoneză semnificativă în această direcție a fost robotul **ASIMO** (Advanced Step in Innovative Mobility), lansat în 2001, cu o înălțime de 1,20 m și o greutate de 43 Kg ([vezi Figura 1.9.b](#)). El este primul robot humanoid care poate realiza deplasări pe tronsoane curbe de traiectorie, controlându-și poziția centrului de greutate și menținându-și viteza de avans, fără a folosi mișcări de tip pivotare la schimbarea tronsoanelor de traiectorie.

## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii**
- 1.2 Geneza roboticii**
- 1.3 Definiții oficiale**
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică**
- 1.5 Clasificarea roboților**
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice**
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali**
- 1.8 SRR și IFR**
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali**
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor**

## 1.3 Definiții oficiale

---

- Analiza definițiilor oficiale ale robotului clarifică obiectul de studiu al roboticii în general.
- Roboții actuali, cu precădere cei industriali:
  - **Sunt structuri antropomorfe** (urmăresc realizarea funcțiilor umanoide, adeseori numai cele ale brațului uman).
  - **Nu sunt androizi** (nu caută să reproducă forma și înfățișarea oamenilor)
  - **Există totuși structuri robotice particulare de inspirație umanoidă sau biologică** în general (mai ales în robotica educațională sau a serviciilor, extrem de rar în aplicații industriale)
  - **Sunt mai multe multe definiții oficiale**, fiecare cu un anumit grad de generalitate și care caută să acopere cât mai multe clase funcționale ale robotilor

## 1.3 Definiții oficiale

---

### 1. Definiția din dicționarul Webster :

➤ *Un aparat automat sau un dispozitiv care realizează funcții ordinare atribuite omului sau care operează de o manieră apropiată inteligenței umane.*

OBS: Deși este o definiție prezentă într-un dicționar de prestigiu, este de așteptat ca ea să nu reflecte în totalitate punctul de vedere științific asupra problematicii în discuție.

## 1.3 Definiții oficiale

---

**2. Definiția IFR (*International Federation on Robotics*) în standardul ISO 8373:**

- ***Robotul industrial este un dispozitiv controlat automat, reprogramabil, multifuncțional, cu 3 sau mai multe articulații, fix sau mobil în scena de operare, destinat aplicațiilor industriale automatizate.***

OBS: Se impun câteva explicații legate de terminologia folosită:

- ***reprogramabil***: toate mișările și funcțiile auxiliare pot fi schimbată numai prin soft, fără modificări structurale ale robotului
- ***multifuncțional***: capacitatea robotului de a se adapta diferitelor aplicații în care este integrat fără modificări structurale ale sale (intervenții la nivelul stucturii mecanice sau la nivelul structurii de comandă, exceptând schimbarea unor elemente suport de memorie externă)
- ***articulații***: legături prin couple cinematice (uzual de rotație sau de translație) ale unor elemente rigide din structura sa mecanică

## 1.3 Definiții oficiale

---

### 3. Definiția JIRA (*Japan Industrial Robot Association*) în standardul JIS B 0134 / 1986

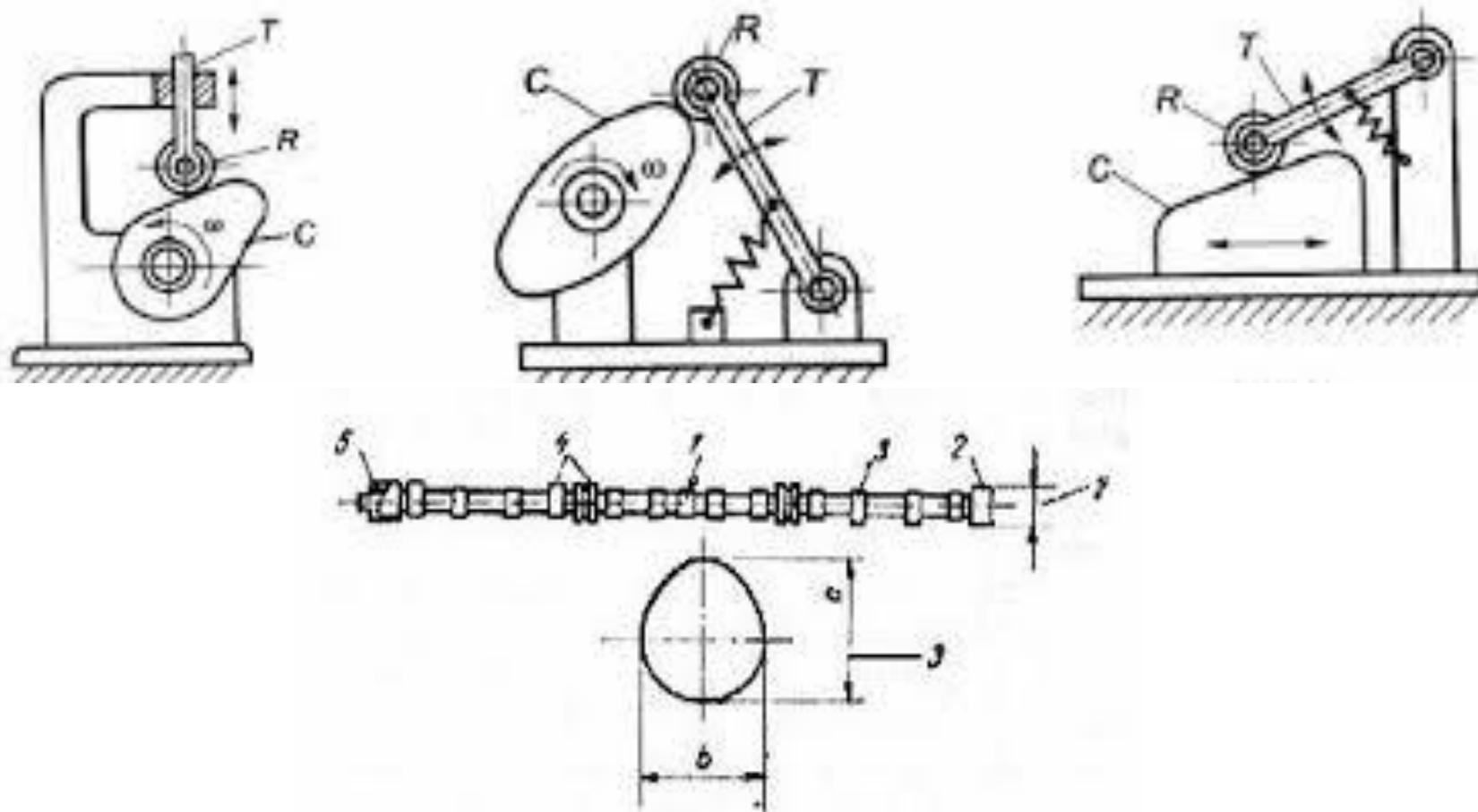
- *Manipulatorul este o mașină al cărui mecanism este compus în mod uzuale din mai multe segmente articulate unul de celălalt, în scopul apucării și deplasării obiectelor, folosind uzuale mai multe grade de libertate. El poate fi controlat de către un operator, un controler electronic programabil sau de către orice sistem logic.*

OBS:

- **Definiția JIRA este considerată de către specialiști ca fiind cea mai cuprinzătoare.**
- Include în categoria roboților industriali și numeroase alte dispozitive care nu sunt integrate în această categorie prin alte clasificări sau definiții:
  - **structurile robotice telecomandate** prin unde radio sau prin cablu
  - **protezele umane / ortezele**
  - **exoscheletele** (structuri robotice destinate amplificării forței și/sau amplitudinii mișcării)
  - **alte dispozitive folosite curent în sistemele de fabricație** (cu sisteme de conducere de tip pur mecanic sau electromecanic ca de ex. cu came profilate)

## 1.3 Definiții oficiale

### Mecanisme de comandă prin came profilate



## 1.3 Definiții oficiale

---

### 4. Definiția adoptată de RIA (*USA Robotic Industries Association*)

➤ *Un robot este un manipulator reprogramabil multifuncțional, proiectat să deplaseze materiale, piese, scule și dispozitive specializate prin mișcări variabile, programate pentru a îndeplini o varietate de sarcini productive.*

OBS: Definiția RIA este similară celei precedente, dar cu mai multe restricții de încadrare a unor dispozitive automate în clasa roboților industriali.

## 1.3 Definiții oficiale

---

### 5. Definiția adoptată de AFRI (*Association Francaise de Robotique Industrielle*)

- *Manipulatorul este un mecanism compus în general din elemente inseriate, articulate sau culisante unul față de celălalt, al cărui scop este apucarea și deplasarea obiectelor după mai multe grade de libertate. Manipulatorul este multifuncțional și poate fi comandat direct de către un operator uman sau prin diferite sisteme logice (sisteme cu came, logică hidro-pneumatică, logică electrică cablată sau programată). Pe această bază se definește robotul ca un manipulator automat, cu poziționare controlată, reprogramabil, polivalent, capabil să execute poziționarea și orientarea diverselor obiecte în spațiu pentru execuția unor sarcini diverse.*

OBS: Definiția AFRI are deosemenea un caracter mai restrictiv. Spre exemplu robotul se deosebește de alte dispozitive automate de manipulare prin faptul că poziționarea trebuie să fie controlată, adică de tip **servoacționare**. Mai departe roboții sunt divizați în trei categorii: (1) Roboți dotați cu servoacționări programabile, (2) Roboți din generația a doua, și (3) Roboți din generația a treia, criteriul de clasificare fiind creșterea gradului de complexitate.

## 1.3 Definiții oficiale

---

### 6. Definiția adoptată de BRA (British Robot Association)

➤ *Un robot industrial este un dispozitiv reprogramabil, proiectat să manipuleze și să transporte piese, scule sau alte produse fabricate prin mișcări programate, în scopul realizării performanțelor specifice sarcinilor de producție.*

OBS: Definiția BRA este apropiată de cea a RIA, în sensul că stabilește cu precizie faptul că robotul este un manipulator reprogramabil, deci trebuie să opereze în conformitate cu un set de instrucțiuni care pot fi schimbată cu ușurință.

## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii**
- 1.2 Geneza roboticii**
- 1.3 Definiții oficiale**
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică**
- 1.5 Clasificarea roboților**
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice**
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali**
- 1.8 SRR și IFR**
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali**
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor**

## 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică

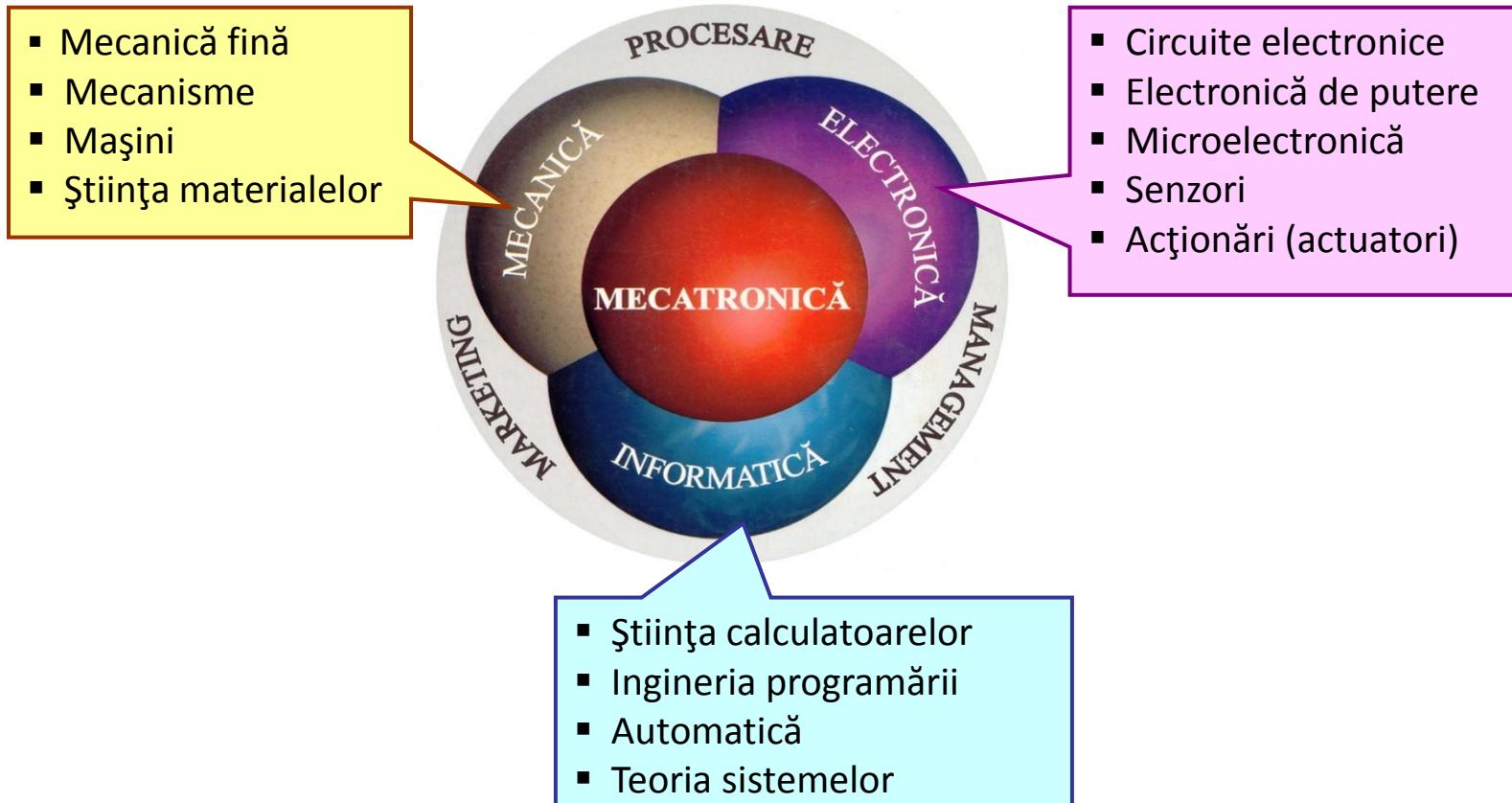
- Robotica face parte din marea familie a **științei sistemelor mecatronice**
  - Sistemele robotice sunt deci o categorie a sistemelor mecatronice
  - Termenul **mecatronică** descrie fuziunea tehnologică “Mecanică – Electronică – Informatică”



Fig. 1.4 Ilustrarea grafică a conceptului de mecatronică.

## 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică

Sistemele mecatronice sunt denumite în prezent și dispozitive inteligente deoarece includ elemente specifice: logica, reacția negativă, algoritmi de conducere și de calcul care simulează la un loc procesul uman de gândire etc.)

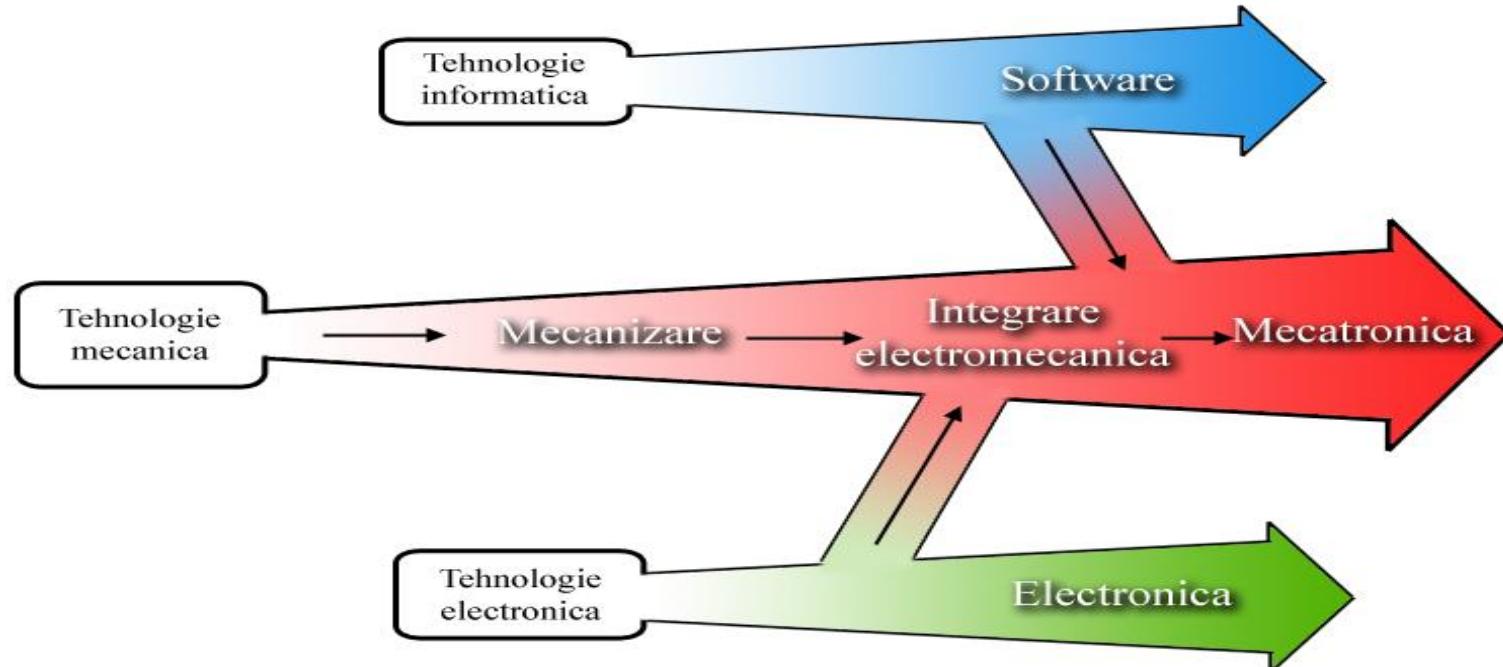


**Fig. 1.5 Aspecte și detalii ale conceptului de mecatronică.**

## 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică

Din punct de vedere al **tehnologilor de fabricație**, mecatronica este rezultatul evoluției firești, de la tehnologia “pur mecanică” la cea “mecatronică”.

- Tehnologia electronică a stimulat foarte mult această evoluție, dezvoltarea microelectronicii a permis mai întâi **integrarea electromecanică**.
- Ulterior, prin integrarea microprocesoarelor în structurile electromecanice, acestea au devenit “inteligente” și astfel s-a ajuns la primele **structuri mecatronice**.



**Fig. 1.6** Dezvoltarea tehnologică, de la tehnologia pur mecanică la cea mecatronică.

## 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică

---

Câteva exemple semnificative de produse mecatronice, alese din diferite categorii de produse:

- **robotica (roboți industriali, mobili, submarini, zburători, umanoizi, pentru servicii)**
- automobilul modern
- tehnica de calcul
- tehnica de telecomunicații
- aparatura biomedicală
- sistemele de transport intelligent
- aparatura de cercetare
- aparatura electrocasnică
- aparatura bancară
- aparatura cine-foto, audio-video și multimedia
- mașinile agricole moderne
- navele maritime comerciale sau de pasageri
- avionica, etc.

## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii**
- 1.2 Geneza roboticii**
- 1.3 Definiții oficiale**
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică**
- 1.5 Clasificarea roboților**
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice**
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali**
- 1.8 SRR și IFR**
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali**
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor**

## 1.5 Clasificarea roboților

---

Există mai multe criterii care pot fi folosite pentru clasificarea roboților.

Exemplificăm cu clasificările oficiale introduse de către două organisme internaționale:

- *International Federation of Robotics (IFR)*
- *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC - revision 3).*

## 1.5 Clasificarea roboților

---

### Clasificarea IFR după caracteristicile constructive ale roboților

#### CRITERIUL 1: După numărul de axe (articulații / grade de libertate)

- 1.1 Robot cu 3 articulații
- 1.2 Robot cu 4 articulații
- 1.3 Robot cu 5 articulații sau mai multe
- 1.4 Robot neclasificați

#### CRITERIUL 2: După tipul controlului

- 2.1 Control secvențial punct cu punct (PCP/PTP) /instruibili (PCP/PTP)
- 2.2 Control continuu pe traекторie (CT/CP) /instruibili (CT/CP)
- 2.3 Control adaptiv
- 2.4 Robot telecomandat și de alte tipuri
- 2.5 Roboți neclasificați

## 1.5 Clasificarea robotilor

---

OBS: Explicații legate de terminologia folosită:

- **Control secvențial**: Evoluția robotului constă în derularea ordonată a unor stări (de exemplu mișcări). Finalizarea unei stări determină inițializarea stării următoare.
- **Control PCP (punct cu punct) sau PTP (point to point)**: Robotul memorează numai o succesiune de puncte din spațiul său de operare, *cele în care el va realiza o anumită operație tehnologică* (de exemplu sudură prin puncte). **Traекторia terminalului robotului între oricare pereche de două puncte successive memorate nu prezintă importanță, adică poate fi arbitrară**, deoarece robotul nu realizează în acest timp nici o operație tehnologică (desigur cu precizarea că mișcarea nu trebuie să genereze impact între robot și alte obstacole din spațiul său de operare). Traекторia arbitrară a terminalului robotului rezultă prin calcule de interpolare a mișcărilor necesare din articulații.

## 1.5 Clasificarea roboților

---

OBS: Explicații legate de terminologia folosită (CONTINUARE):

- **Control continuu pe traекторie CP (continuous path)**: Terminalul robotului realizează o traекторie complexă parametrizată prin variabila timp, adesea 3D, de-a lungul căreia va efectua o operație tehnologică (de exemplu sudură cu cordon de sudură). **Sistemul de conducere al robotului trebuie să producă și ulterior să reproducă identic această traекторie pentru realizarea operației tehnologice.**
- **Robot instruibil**: Robotul este **mai întâi învățat (instruit)** de către un operator uman, după care poate repeta secvențele de mișcare învățate (**procedura playback**).

## 1.5 Clasificarea robotilor

---

OBS: Explicații legate de terminologia folosită (CONTINUARE):

- **Robot adaptiv**: Robotul își poate modifica funcționarea datorită prezenței controlului senzorial, controlului adaptiv sau controlului prin experiență, definite prin ISO 9373 astfel:
  - **Control senzorial**: Mișcarea sau forța robotului sunt ajustate în concordanță cu semnalul oferit de un sistem senzorial extern.
  - **Control adaptiv**: Parametrii sistemului de control sunt ajustați prin condiții detectate în timpul procesului.
  - **Control prin experiență**: Experiența obținută pe parcursul ciclurilor funcționale anterioare este folosită la ajustarea parametrilor sistemului de control.
- **Robot telecomandat**: Robotul este comandat de la distanță de către un operator uman sau de către un calculator folosind legături fizice directe (fire, conducte, etc.) sau indirecte (unde radio, unde infraroșii, etc.)

## 1.5 Clasificarea roboților

---

**Clasificarea IFR după caracteristicile constructive ale roboților  
(CONTINUARE)**

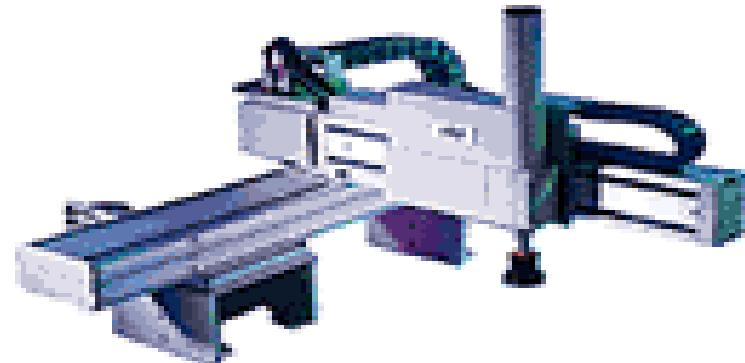
### **CRITERIUL 3: După structura mecanică**

- 3.1 Robot **cartezian**
- 3.2 Robot **cilindric**
- 3.3 Robot **sferic (polar)**
- 3.4 Robot **orizontal articulat (antropomorf)**
- 3.5 Robot **vertical articulat (SCARA)**
- 3.6 Robot **paralel**
- 3.7 Roboți neclasificați

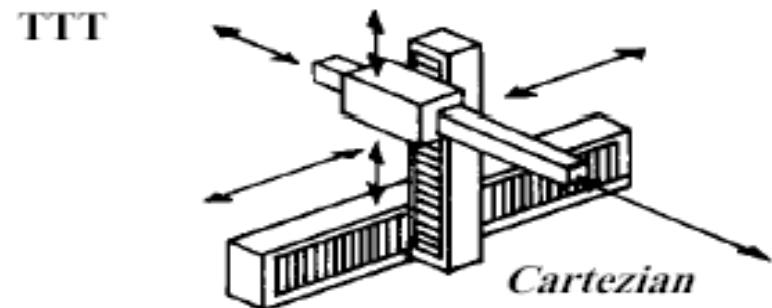
## 1.5 Clasificarea roboților

### 3.1 Robot cartesian

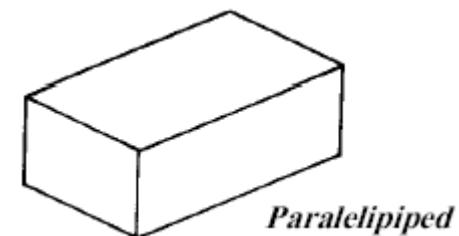
→ Exemplu foto:



→ Structură cinematică:



→ Forma spațiului de operare:



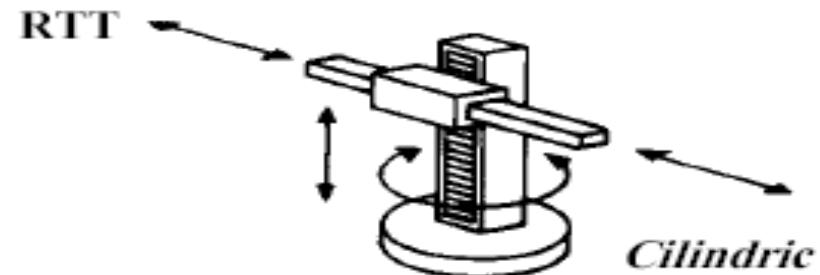
## 1.5 Clasificarea roboților

### 3.2 Robot cilindric

→ Exemplu foto:



→ Structură cinematică:



→ Forma spațiului de operare:



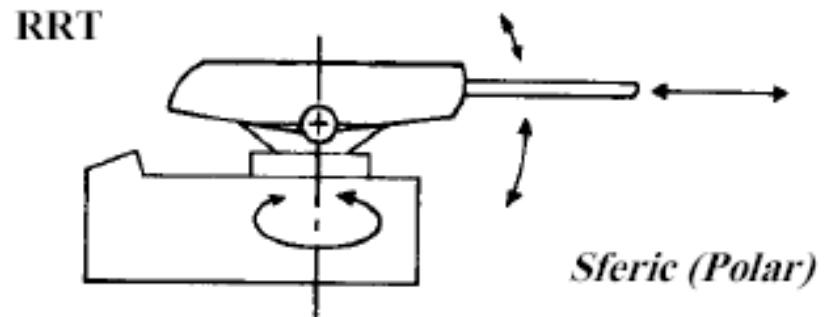
## 1.5 Clasificarea robotilor

### 3.3 Robot sferic (polar)

→ Exemplu foto:

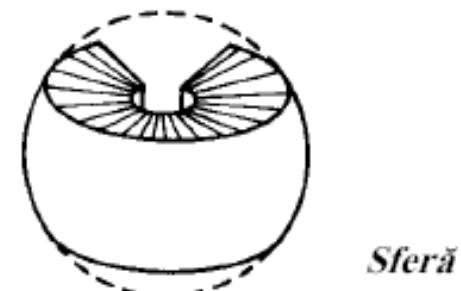


→ Structură cinematică:



Sferic (Polar)

→ Forma spațiului de operare:



Sferă

## 1.5 Clasificarea roboților

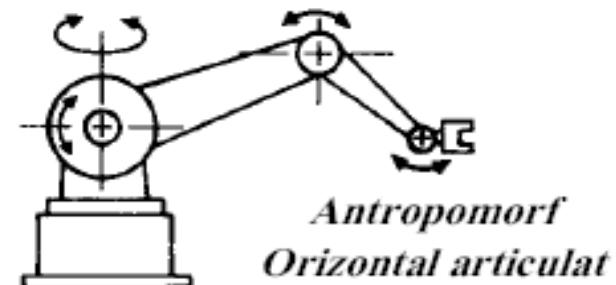
### 3.4 Robot orizontal articulat (antropomorf)

→ Exemplu foto:

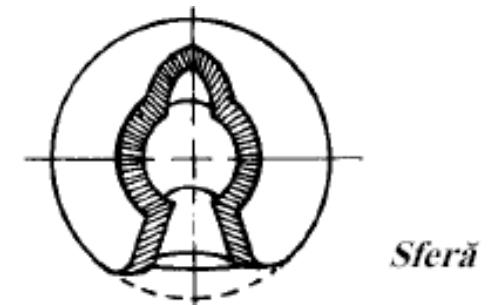


→ Structură cinematică:

RRR



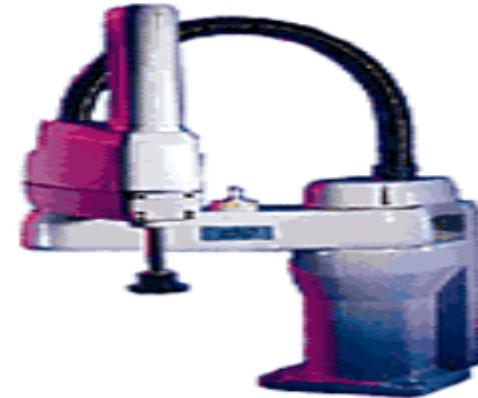
→ Forma spațiului de operare:



## 1.5 Clasificarea roboților

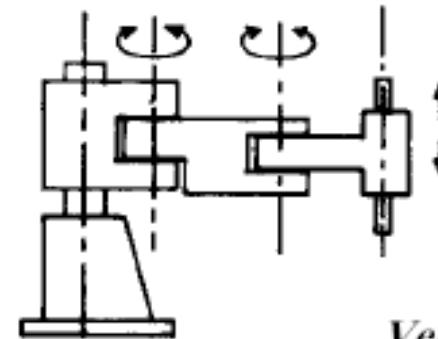
### 3.5 Robot vertical articulat (SCARA - *Selective Compliance Articulated Robot for Assembly*)

→ Exemplu foto:

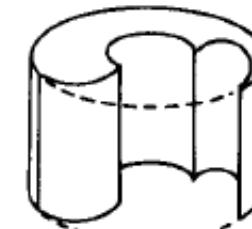


RRT

→ Structură cinematică:



*SCARA  
Vertical articulat*



*Cilindru*

→ Forma spațiului de operare:

## 1.5 Clasificarea roboților

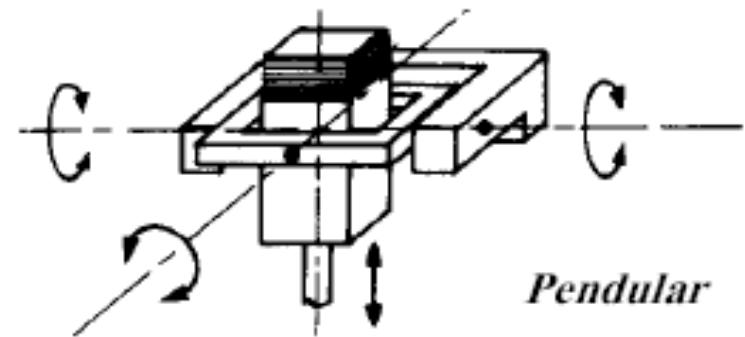
### 3.6 Robot paralel

→ Exemplu foto:



→ Structură cinematică:

RRR



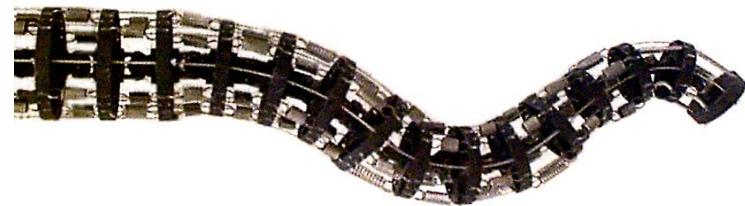
→ Forma spațiului de operare:



## 1.5 Clasificarea robotilor

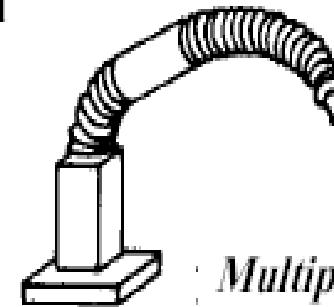
### 3.7 Robot neclasificat (Exemplu: **robot hiper-redundant**)

→ Exemplu foto:



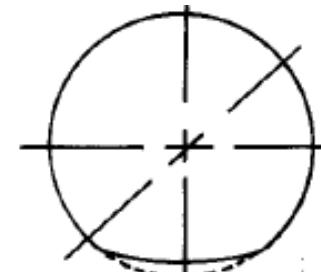
→ Structură cinematică:

R multiplu



*Multiplu articulat*

→ Forma spațiului de operare:



*Sferă*

## 1.5 Clasificarea roboților

---

**Clasificarea IFR după caracteristicile constructive ale roboților  
(CONTINUARE)**

### **CRITERIUL 4: După tipul sistemului de acționare**

- 4.1 Acționare electrică
- 4.2 Acționare pneumatică
- 4.3 Acționare hidraulică
- 4.4 Acționare mixtă (combinată)
- 4.5 Soluții neconvenționale (speciale) de acționare

## 1.5 Clasificarea robotilor

---

OBS: Explicații legate de terminologia folosită:

- **Actionare electrică**: Toate acționările robotului sunt de tip electric
- **Actionare pneumatică**: Toate acționările robotului sunt de tip pneumatic (alimentate cu aer comprimat)
- **Actionare hidraulică**: Toate acționările robotului sunt de tip hidraulic (alimentate cu ulei mineral sub presiune)
- **Actionare mixtă (combinată)**: Acționările robotului sunt energizate diferit, putând distinge mai multe combinații:
  - Robot cu **acționare electro-pneumatică** (Adeseori terminalul robotului folosește o acționare pneumatică, spre deosebire de restul acționărilor sale)
  - Robot cu **acționare electro-hidraulică**
  - Robot cu **acționare electro-hidraulică-pneumatică**

## 1.5 Clasificarea robotilor

### Clasificarea IFR după clase de aplicații robotizate

Cod IFR	Clase de aplicații	
000	Nespecificate	
110	<b>Operații de manipulare în turnătorii</b>	
	111	Deservire matrițe
	119	Altele
130	Operații de manipulare în injecții mase plastice	
140	Operații de manipulare în prelucrări termice	
150	Operații de manipulare în forjare	
160	<b>Operații de sudură</b>	
	161	Sudură cu arc electric
	162	Sudură în puncte
	163	Sudură cu flacără
	164	Sudură cu laser
	169	Altele
170	<b>Operații bazate pe dispersie de materiale</b>	
	171	Vopsire
	172	Lipire cu adezivi / Lipire prin ștanțare
	179	Altele

## 1.5 Clasificarea robotilor

### Clasificarea IFR după clase de aplicații robotizate (CONTINUARE)

Cod IFR	Clase de aplicații	
180	<b>Prelucrări mecanice</b>	
	181	Încărcare / descărcare mașini-unelte
	182	Operații mecanice de tăiere / debavurare / polizare / finisare
	189	Altele
190	<b>Aplicații speciale</b>	
	191	Decupare cu laser
	192	Decupare cu jet de apă
	199	Altele
200	<b>Asamblare</b>	
	201	Asamblări mecanice
	202	Asamblări prin inserări / montaje / tăieri
	203	Asamblări prin legare
	204	Asamblări prin lipire
	205	Manipulare pentru operații de asamblare
	209	Altele
210	<b>Paletizare / Depaletizare</b>	
220	<b>Măsurare / Inspecție / Testare</b>	
230	<b>Transport de materiale</b>	
240	<b>Învățământ / Educație / Cercetare</b>	
900	<b>Alte aplicații</b>	

# 1.5 Clasificarea robotilor

**Clasificarea ISIC (*International Standard Industrial Classification of All Economic Activities*), după domeniile beneficiare ale aplicațiilor robotice**

ISIC rev3 cod	DOMENII INDUSTRIALE
A+B	Agricultură, Silvicultură, Vânătoare și Pescuit
C	Mine și Cariere
15 + 16	Industria bunurilor alimentare, băuturi și țigări
17	Industria textilelor
25	Industria cauciucului și a maselor plastice
26	Industria prelucrătoare de alte minereuri nemetalifere
27	Industria siderurgică
28	Industria prelucrătoare a metalelor, exceptând mașini și echipamente
29	Industria mașinilor și echipamentelor
30	Industria echipamentelor de birotică
31	Industria de mașini și aparate electrice
32	Industria electronică și de telecomunicații
33	Industria instrumentelor medicale, de precizie, optice, ceasuri
341	Industria de motoare cu ardere internă
342	Industria de autovehicole (caroserii, montaj general)
343	Industria de piese și accesorii pentru autovehicole
35	Industria producătoare de alte mijloace de transport
36	Industria mobilei
E	Electricitate, gaz și alimentare cu apă
F	Construcții civile și industriale
73	Cercetare și dezvoltare
M	Educație
	Alte sectoare neprelucrătoare
	Destinații speciale

## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii**
- 1.2 Geneza roboticii**
- 1.3 Definiții oficiale**
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică**
- 1.5 Clasificarea roboților**
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice**
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali**
- 1.8 SRR și IFR**
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali**
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor**

## 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

---

Alături de roboții industriali propriu-zisi, există în prezent mai multe alte dispozitive care utilizează diverse aspecte ale tehnologiei folosite pentru construcția lor.

- Din acest motiv aceste dispozitive sunt denumite adeseori "roboți", chiar dacă prin medierea definițiilor prezentate anterior ele nu sunt strict încadrabile în această categorie.
- Pot fi evidențiate cel puțin patru clase de astfel de dispozitive "apropiate" familiei roboților industriali:
  - **Protezele**
  - **Exoscheletele**
  - **Telemanipulatoarele**
  - **Mecanismele de deplasare**

## 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

---

**1. Protezele umane (numite și orteze), în primul rând de mâini sau de picioare, folosesc multe din structurile mecanice specifice roboților industriali, *fără a dispune cel mai adesea de un sistem propriu și programabil de conducere.***

- Realizări relativ recente folosesc chiar impulsurile nervoase generate de creierul uman pentru acționarea articulațiilor protezelor.
- Problemele legate de captarea optimă a impulsurilor nervoase ca și de îmbunătățirea performanțelor generale (greutate, flexibilitate, etc.) rămân încă a fi rezolvate de acest domeniu de real interes.

# 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

## Proteze (orteze) pentru mâna, umăr, cot, degete



# 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

## Proteze (orteze) pentru gât, spate, trunchi



## 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

---

**2. Exoscheletele** sunt structuri mecanice complexe, menite să amplifice performanțele mâinii omului (sau chiar ale intregului său schelet) sub aspectul forțelor dezvoltate sau al amplitudinii mișcărilor generate.

- Nu dispun de un propriu sistem de conducere.
- „Îmbracă” mâna sau scheletul omului, preiau mișările acestuia și le amplifică parametrii, putând fi deci considerate ca "amplificatoare ale performanțelor omului".
- Au destinații civile și militare

# 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

## Exoschelete civile



# 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

## Exoschelete militare



## 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

---

**3. Telemanipulatoarele** sunt structuri conduse de la distanță direct de către operator (om) prin diferite soluții, cum ar fi:

- Legătură cablată (prin fir/cablu)
- Legătură wireless radio (dezvoltare puternică în ultimul timp)
- Legătură în infra-roșu etc.

Asigură mai multe clase de aplicații speciale:

- Eliminarea prezenței omului din mediile extrem de nocive:
  - diferite medii industriale poluate
  - mediul nuclear
  - mediul subacvatic
  - mediul extraterestru
- Aplicații militare
- Întreținerea liniilor de înaltă tensiune etc.

Având în vedere și importanța și pericolozitatea acțiunilor realizate pentru mediu sau pentru propria lor structură, **telemanipulatoarele nu dispun de un controler**, ci folosesc omul ca nivel decizional și de conducere pentru coordonarea directă a întregii lor funcționări.

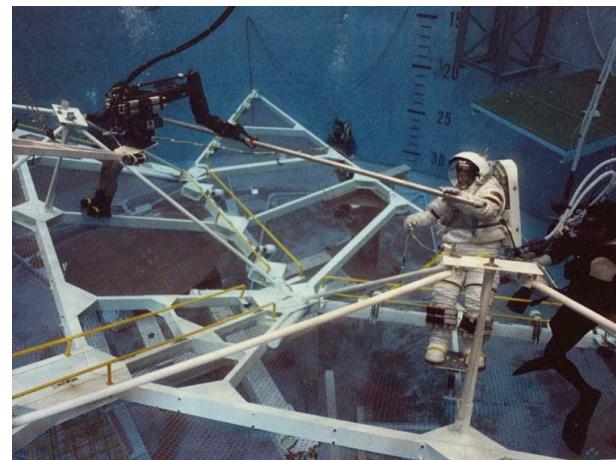
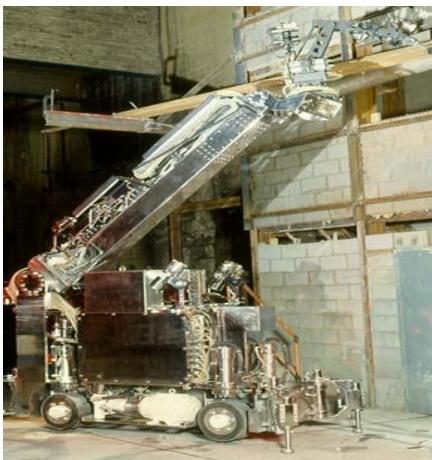
## 1.6 Dispozitive assimilate ca fiind structuri robotice

Structuri robotice telecomandate, prin radio sau cablu



# 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

## Structuri robotice telecomandate în aplicații speciale



## 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

---

**4. Mecanismele de deplasare** folosesc soluții dintre cele mai diverse, inspirate cel mai adesea de biologie, pentru a asigura mobilitatea în spațiul de operare a întregii structuri.

Locomoția poate fi asigurată prin diferite soluții, mai mult sau mai puțin convenționale, cum ar fi:

- **Roți**
- **Picioare**
- **Târâre**
- **Înot**
- **Zbor** etc.

Aceste mecanisme constituie numai o platformă mobilă care, funcție de dotare, poate deveni un **robot mobil**.

# 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

## Mecanisme de deplasare pentru diferite tipuri de medii



## 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

---

- Un domeniu relativ nou pentru robotică și care asigură un câmp extins de aplicații este **domeniul serviciilor**. El utilizează multe dintre cele 4 clase de dispozitive speciale enumerate anterior.

Din anul 1998, IFR a introdus în clasificările oficiale **roboții destinați serviciilor** și a propus următoarea definiție:

➤ ***Un robot care operează în variantă semi sau total automată pentru a realiza servicii utile omului sau echipamentelor, excluzând operațiile de producție.***

**OBS:** Ca o recunoaștere a acestei realități, din același an 1998 IFR a modificat chiar titulatura propriei publicații, din vechea denumire **World Industrial Robotics** în noua denumire **World Robotics**, tocmai pentru a integra acest nou domeniu al roboticii.

## 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

---

**Roboții destinați serviciilor sunt cel mai adesea mobili în scena de operare și dotați cu una sau mai multe structuri de tip braț, controlate similar roboților industriali.**

Câteva exemple de aplicații în care aceștia sunt deja integrați în mod curent:

- Curățenia ambientală (birouri, geamuri, alei...)
- Ajutor pentru handicapați
- Roboți curier (distribuire corespondență, transport bolnavi)
- Ajutor în chirurgie
- Reparea liniilor de înaltă tensiune
- Deservirea avionanelor la sol, etc.

## 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

---

IFR a adoptat un sistem preliminar de clasificare a roboților destinați serviciilor prin introducerea următoarelor poziții:

- **510 Servicii directe pentru om (personale, de protecție, recreative, etc.)**
  - 511 Interactive
  - 512 Neinteractive
  - 519 Altele
- **520 Servicii pentru echipamente (menenanță, reparații, curățenie, etc.)**
  - 521 Interactive
  - 522 Neinteractive
  - 529 Altele
- **530 Alte scopuri ale functiilor autonome (supraveghere, transport, achiziții de date, etc.) și/sau roboți destinați serviciilor care nu pot fi clasificați integral în 510 / 520.**

# 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice

**Roboți mobili (AGV-Automated Guided Vehicles) pentru transport  
în mediul industrial**



## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii**
- 1.2 Geneza roboticii**
- 1.3 Definiții oficiale**
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică**
- 1.5 Clasificarea roboților**
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice**
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali**
- 1.8 SRR și IFR**
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali**
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor**

## 1.7 De ce s-au impus roboții industriali

---

Comparând robotii industriali cu operatorii umani:

- **Nu obosesc și nici nu-și pierd atenția** în timp ce realizează o activitate productivă, aspect care conduce la o calitate uniformă a produselor, cu o cadență constantă și o rată a defectelor substanțial mai redusă.
- Permit realizarea unui **regim de funcționare non - stop**, 24 ore pe zi, 7 zile pe săptămână.
- **Pot opera în medii nocive ființei umane**, ceea ce aduce importante beneficii economice prin reducerea cheltuielilor sociale aferente operatorilor umani (program de lucru redus, echipamente de protecție costisitoare, concedii medicale etc.).
- **Elimină creșterea continuă a costurilor muncii** (sporuri de salarii, contribuții la asigurări sociale, drepturi speciale legate de profit, concedii sau pensionări etc.).
- Prin optimizări ale ciclurilor funcționale, aduc de cele mai multe ori **economii constante în privința materialelor consumabile utilizate** în diferite aplicații (de exemplu în procesele de vopsire).

## 1.7 De ce s-au impus roboții industriali

---

Comparând robotii industriali cu operatorii umani (continuare):

- Consistența, calitatea și regularitatea ciclurilor de execuție și a programelor **avantajează controlul automat al procesului de fabricație în ansamblul său** precum și eficiența globală obținută.
- **Investiția financiară într-un robot se realizează o singură dată**, în timp ce costurile forței de muncă sunt permanente și în general valoric crescătoare pe parcursul anilor.
- Ca urmare a progreselor în tehnologiile electronice, **rata de creștere a prețului roboților (raportată la sporul de performanțe intrinsece)** s-a dovedit a fi constantă și sensibil mai mică decât rata de creștere a cheltuielilor cu forța de muncă.
- **Roboții pot executa anumite operații tehnologice speciale**, pe care oamenii le pot executa numai cu greutate sau chiar nu le mai pot executa deloc (asamblări de înaltă precizie, manipulări de sarcini mari, etc.)

## 1.7 De ce s-au impus roboții industriali

---

Roboții industriali oferă mai multe avantaje și în comparație cu **mașinile și echipamentele specializate**.

- Întrucât funcționarea lor se bazează în mod fundamental pe **reprogramare, funcțională**, flexibilitatea existentă oferă avantaje majore în raport cu schimbările intervenite în procesul de fabricație.
- Se elimină astfel un mare volum de cheltuieli legate de reproiectarea totală sau parțială a echipamentelor specializate atunci când se dorește schimbarea tipului de fabricație, costurile solicitate de reprogramare roboților fiind nesemnificative în raport cu acestea.

## 1.7 De ce s-au impus roboții industriali

---

Un sondaj efectuat la firme importante pe plan mondial, care utilizează curent roboți industriali a condus la următoarele răspunsuri care motivează opțiunea lor (în ordine procentuală descrescătoare):

1. Reducerea costurilor cu munca vie, mereu în creștere
2. Îmbunătățirea condițiilor de muncă
3. Creșterea necesară a flexibilității, ca urmare a accentuării dinamicii propriei fabricații
4. Creșterea calității producției
5. Reducerea pierderilor materiale
6. Încadrarea în normele de protecția muncii, din ce în ce mai severe
7. Pentru a elimina costurile (dar și lipsa) forței de muncă de înaltă calitate
8. Obținerea unui control și a unei eficiențe globale superioare pentru întregul sistem de fabricație

## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii**
- 1.2 Geneza roboticii**
- 1.3 Definiții oficiale**
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică**
- 1.5 Clasificarea roboților**
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice**
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali**
- 1.8 SRR și IFR**
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali**
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor**

**Societatea de Robotică din România:**

**[www.robotics-society.ro](http://www.robotics-society.ro)**

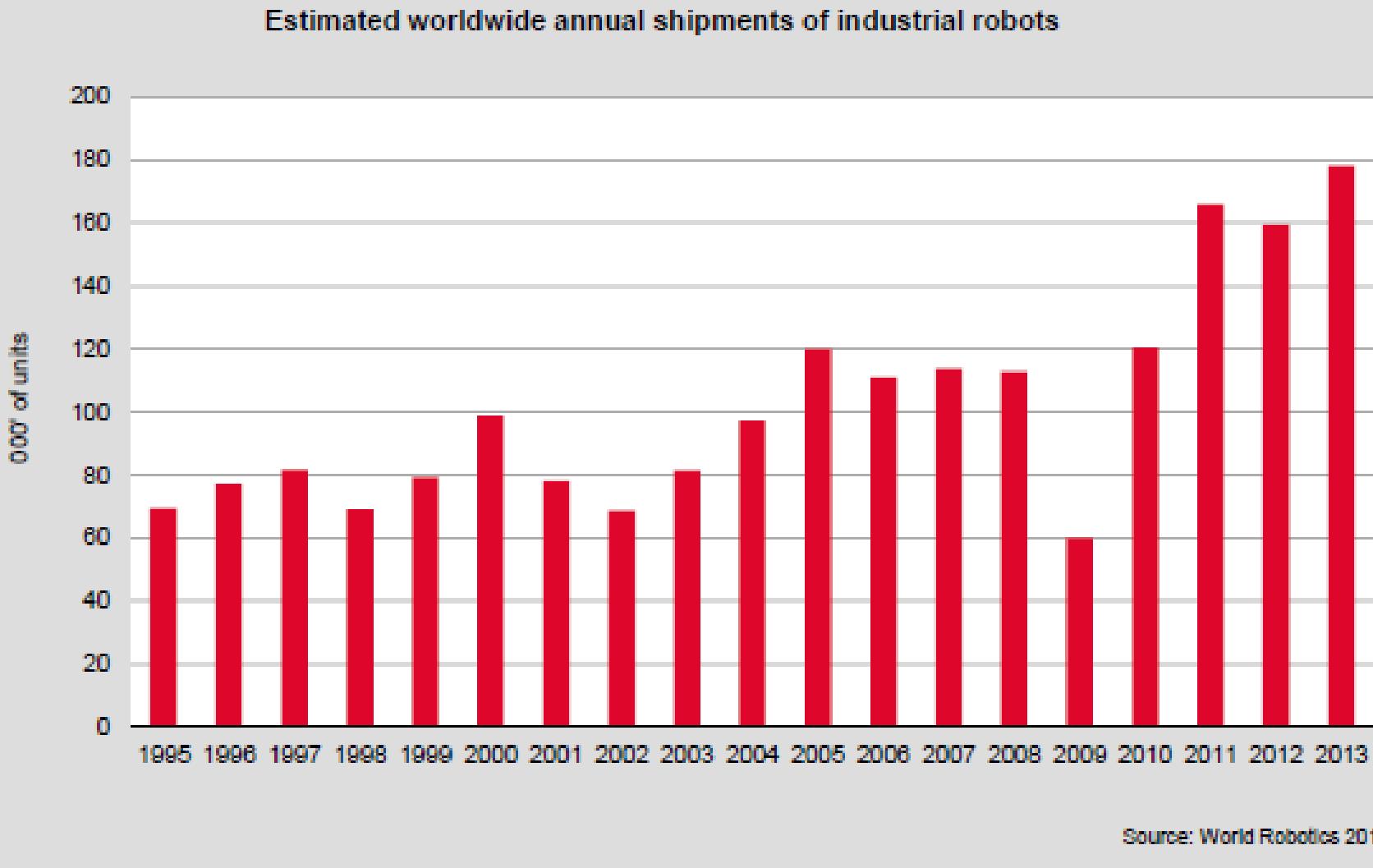
**International Federation on Robotics:**

**<http://www.ifr.org/>**

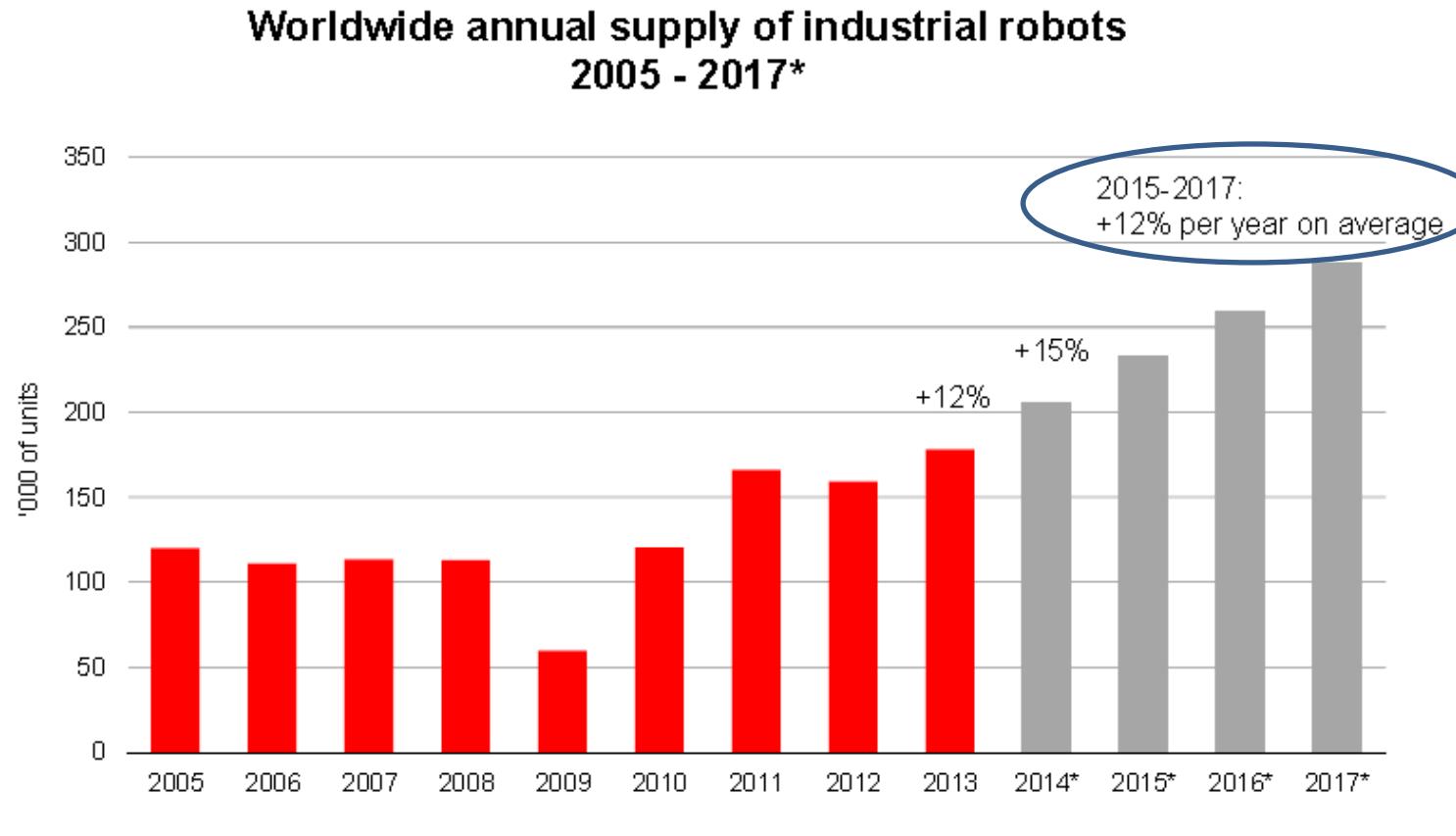
## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii**
- 1.2 Geneza roboticii**
- 1.3 Definiții oficiale**
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică**
- 1.5 Clasificarea roboților**
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice**
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali**
- 1.8 SRR și IFR**
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali**
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor**

## 1.9 Parcul mondial de roboți industriali

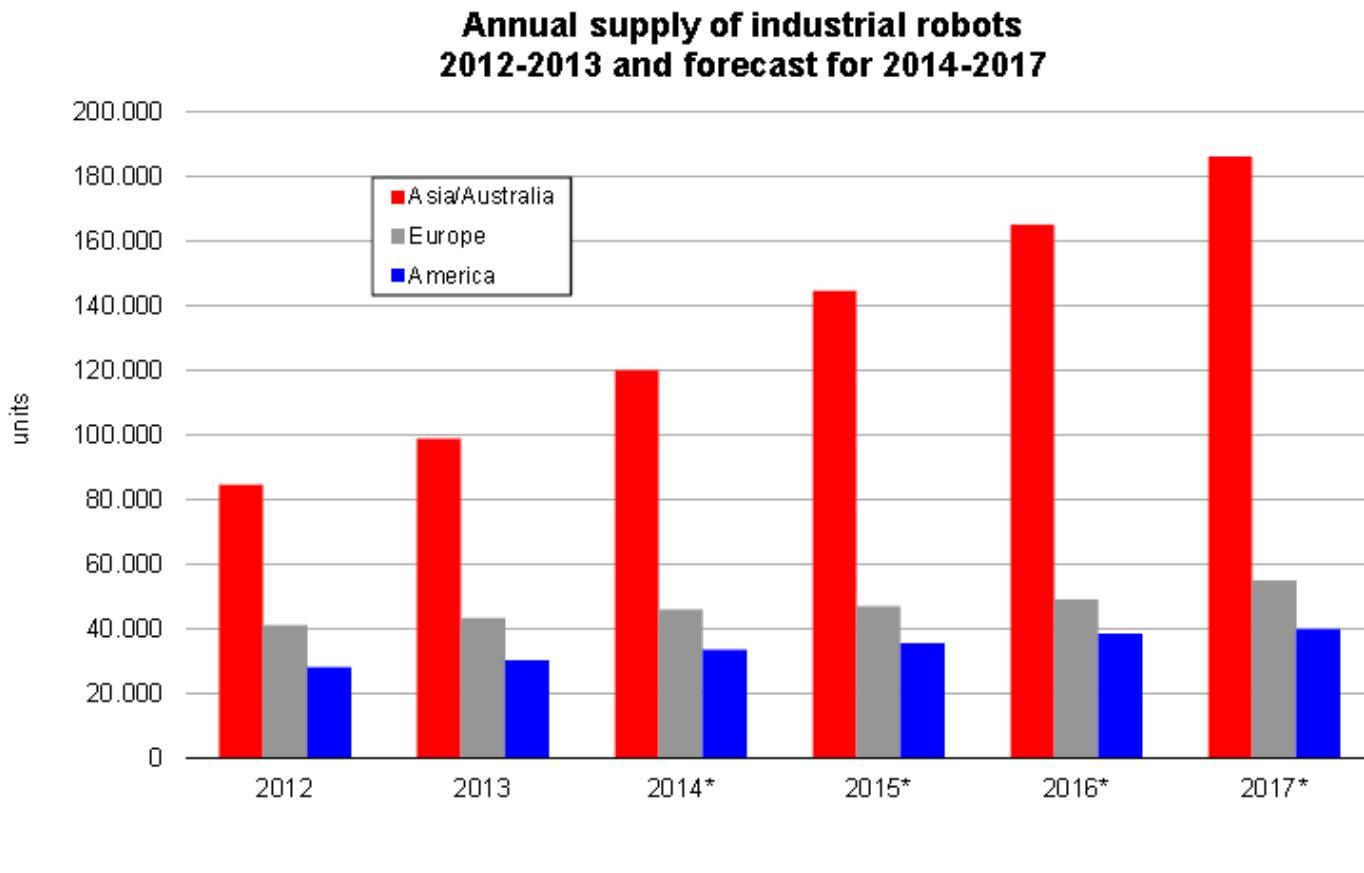


## 1.9 Parcul mondial de roboți industriali



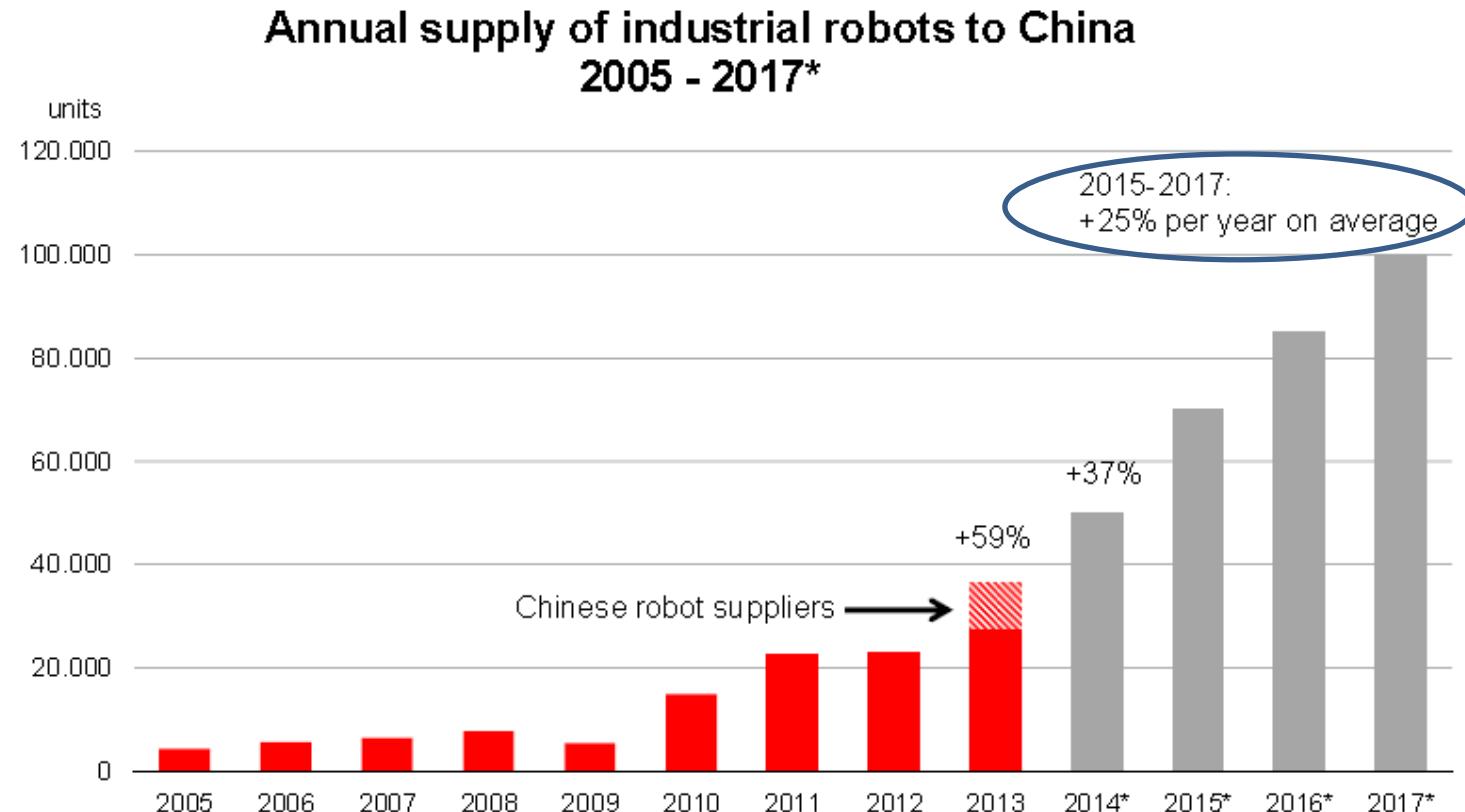
Source: IFR World Robotics 2014

## 1.9 Parcul mondial de roboți industriali



Source: IFR World Robotics 2014

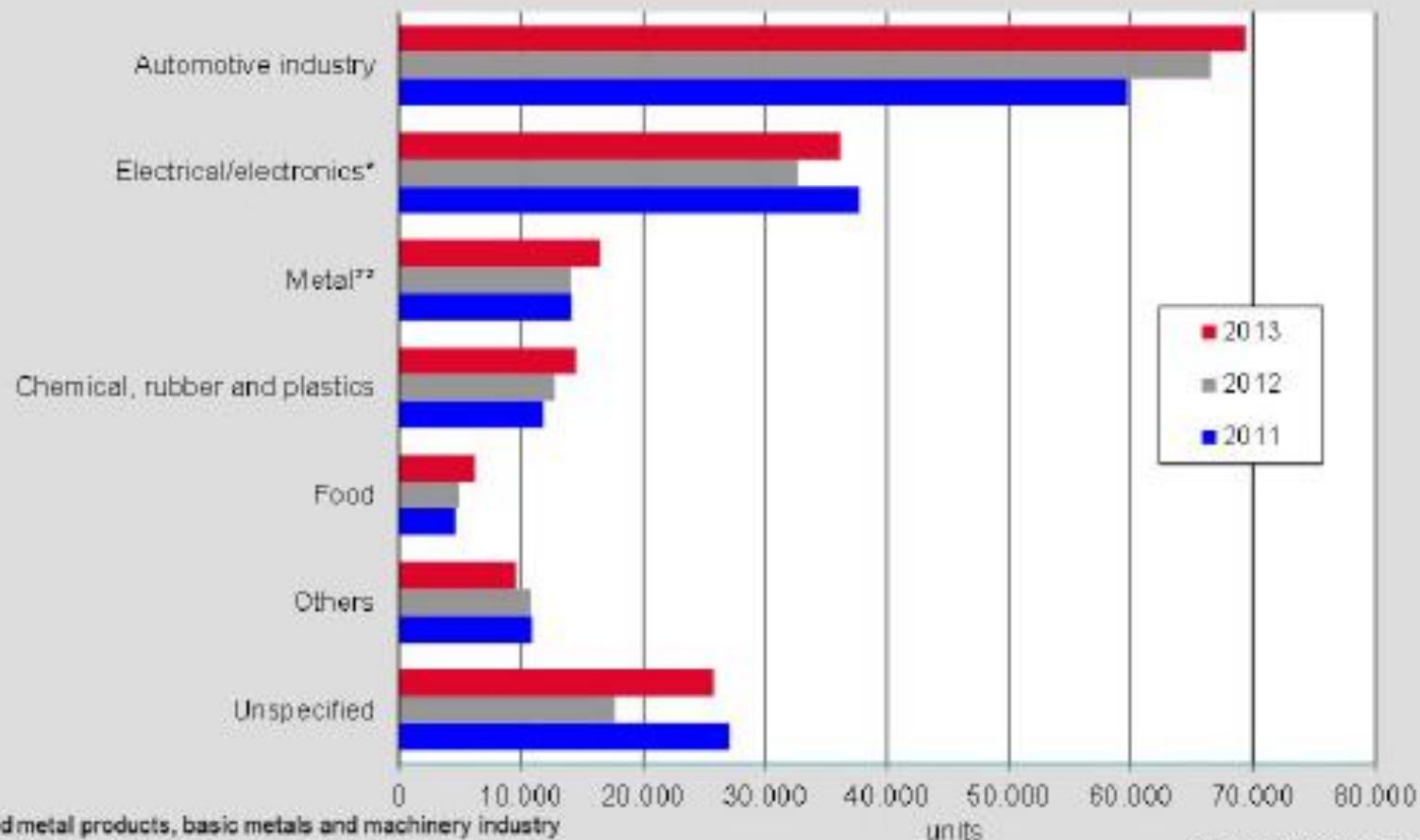
## 1.9 Parcul mondial de roboți industriali



Source: IFR World Robotics 2014

## 1.9 Parcul mondial de roboți industriali

**Estimated worldwide annual supply of industrial robots at year-end by industries 2011 - 2013**



\* incl. fabricated metal products, basic metals and machinery industry

\*\* incl. communication, computer and medical precision

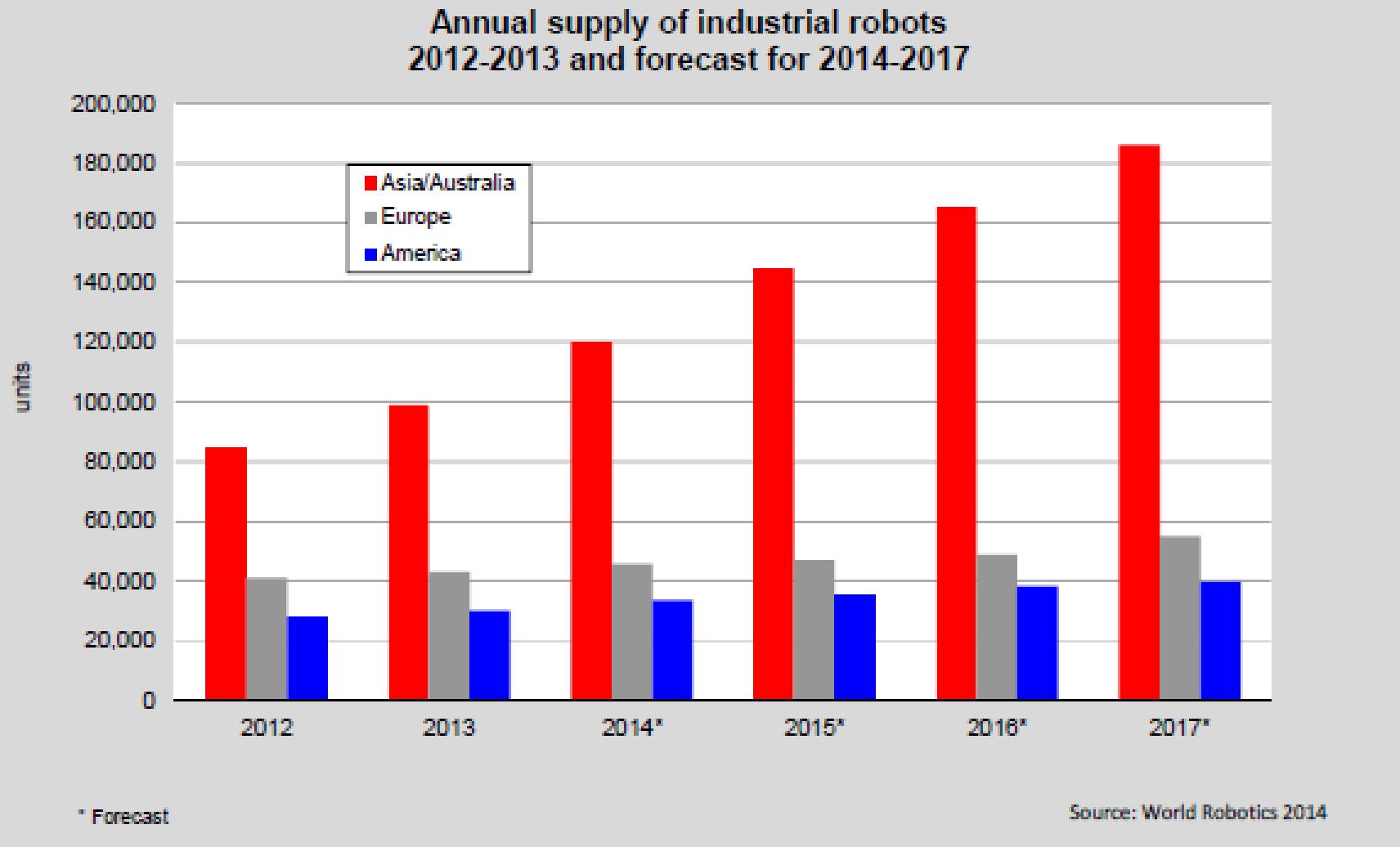
Source: World Robotics 2014

## 1.9 Parcul mondial de roboți industriali

Estimated yearly shipments of multipurpose industrial robots in selected countries. Number of units

Country	2012	2013	2014*	2017*
<b>America</b>	<b>28,137</b>	<b>30,317</b>	<b>33,700</b>	<b>40,000</b>
Brazil	1,645	1,398	2,000	3,500
North America (Canada, Mexico, USA)	26,269	28,668	31,500	36,000
Other America	223	251	200	500
<b>Asia/Australia</b>	<b>84,645</b>	<b>98,807</b>	<b>120,000</b>	<b>186,000</b>
China	22,987	36,560	50,000	100,000
India	1,508	1,917	2,500	5,000
Japan	28,680	25,110	28,000	32,000
Republic of Korea	19,424	21,307	23,500	26,000
Taiwan	3,368	5,457	6,000	9,000
Thailand	4,028	3,221	4,200	7,000
other Asia/Australia	4,650	5,235	5,800	7,000
<b>Europe</b>	<b>41,218</b>	<b>43,284</b>	<b>46,000</b>	<b>55,000</b>
Czech Rep.	1,040	1,337	1,800	2,600
France	2,956	2,161	2,300	2,800
Germany	17,528	18,297	19,500	21,000
Italy	4,402	4,701	4,800	5,500
Spain	2,005	2,764	3,000	3,800
United Kingdom	2,943	2,486	2,500	3,500
other Europe	10,344	11,538	12,100	15,800
<b>Africa</b>	<b>393</b>	<b>733</b>	<b>800</b>	<b>1,000</b>
not specified by countries**	4,953	4,991	4,500	6,000
<b>Total</b>	<b>159,346</b>	<b>178,132</b>	<b>205,000</b>	<b>288,000</b>

## 1.9 Parcul mondial de roboți industriali

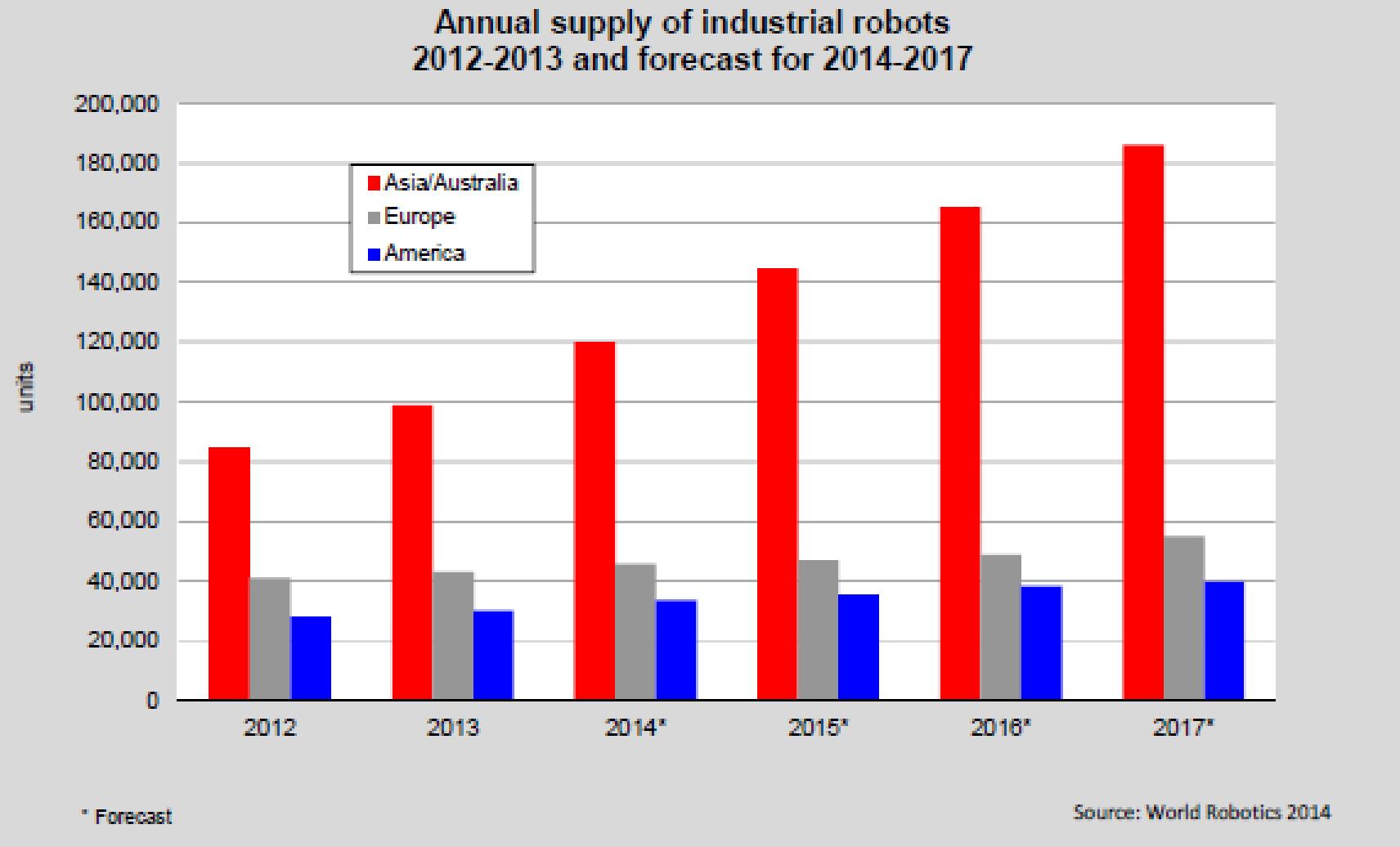


# 1.9 Parcul mondial de roboți industriali

Estimated operational stock of multipurpose industrial robots at year-end in selected countries. Number of units

Country	2012	2013	2014*	2017*
<b>America</b>	<b>207,017</b>	<b>226,071</b>	<b>249,500</b>	<b>313,200</b>
Brazil	7,576	8,564	10,300	18,300
North America (Canada, Mexico, USA)	197,962	215,817	237,400	291,900
Other America	1,479	1,690	1,800	3,000
<b>Asia/Australia</b>	<b>628,889</b>	<b>689,349</b>	<b>777,100</b>	<b>1,107,600</b>
China	96,924	132,784	182,300	427,900
India	7,840	9,677	12,100	23,300
Japan	310,508	304,001	306,700	287,000
Republic of Korea	138,883	156,110	175,600	227,500
Taiwan	32,455	37,252	42,600	56,300
Thailand	17,116	20,337	24,400	40,100
other Asia/Australia	25,163	29,188	33,400	45,500
<b>Europe</b>	<b>380,546</b>	<b>392,227</b>	<b>411,500</b>	<b>476,800</b>
Czech Rep.	6,830	8,097	9,800	15,500
France	33,624	32,301	31,600	30,200
Germany	161,988	167,579	175,200	199,200
Italy	60,750	59,078	58,400	57,800
Spain	28,911	28,091	28,700	32,000
United Kingdom	15,046	15,591	17,300	23,800
other Europe	73,397	81,490	90,500	118,300
<b>Africa</b>	<b>2,858</b>	<b>3,501</b>	<b>4,200</b>	<b>6,600</b>
not specified by countries**	16,079	21,070	25,600	41,800
<b>Total</b>	<b>1,235,389</b>	<b>1,332,218</b>	<b>1,467,900</b>	<b>1,946,000</b>

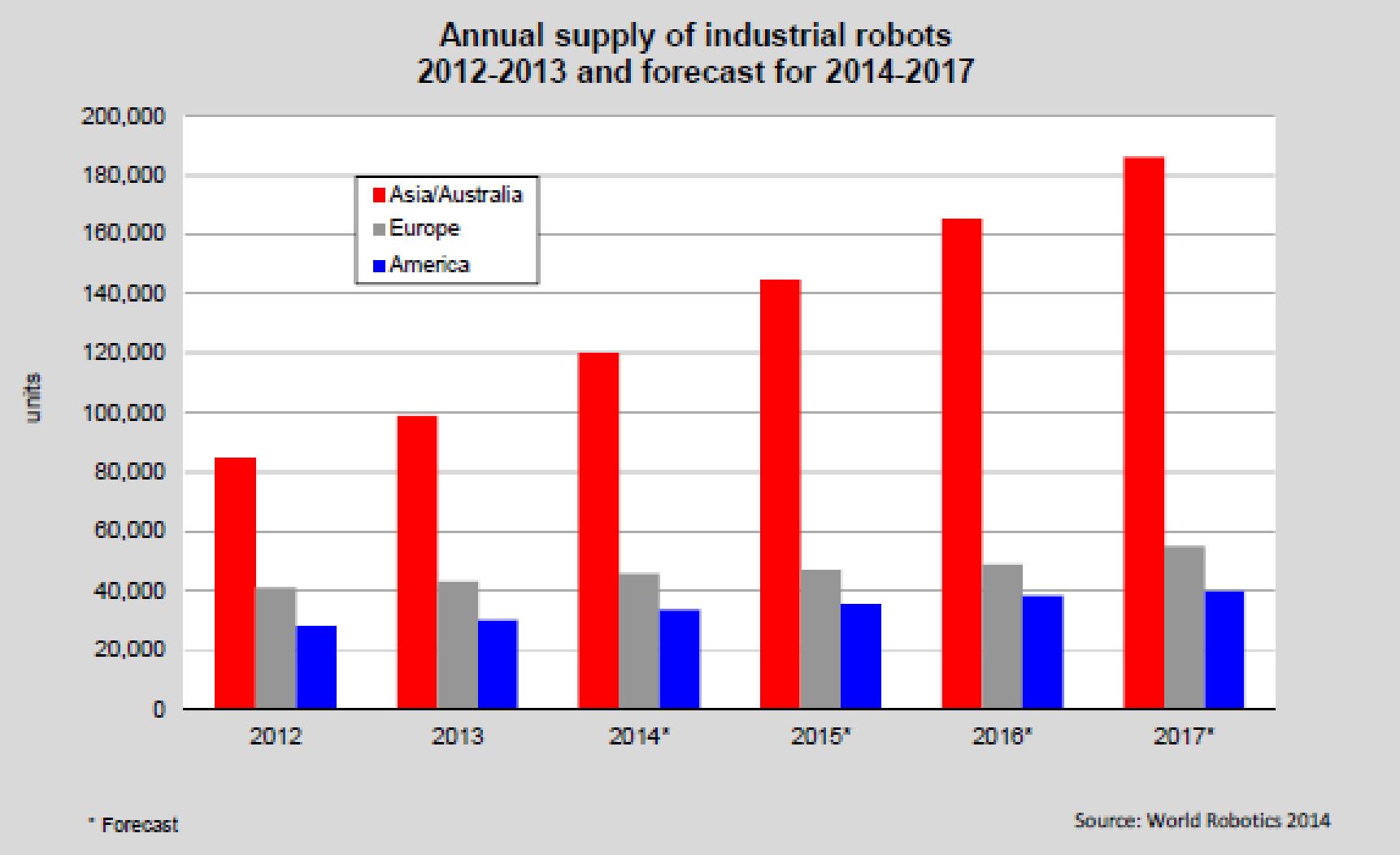
## 1.9 Parcul mondial de roboți industriali



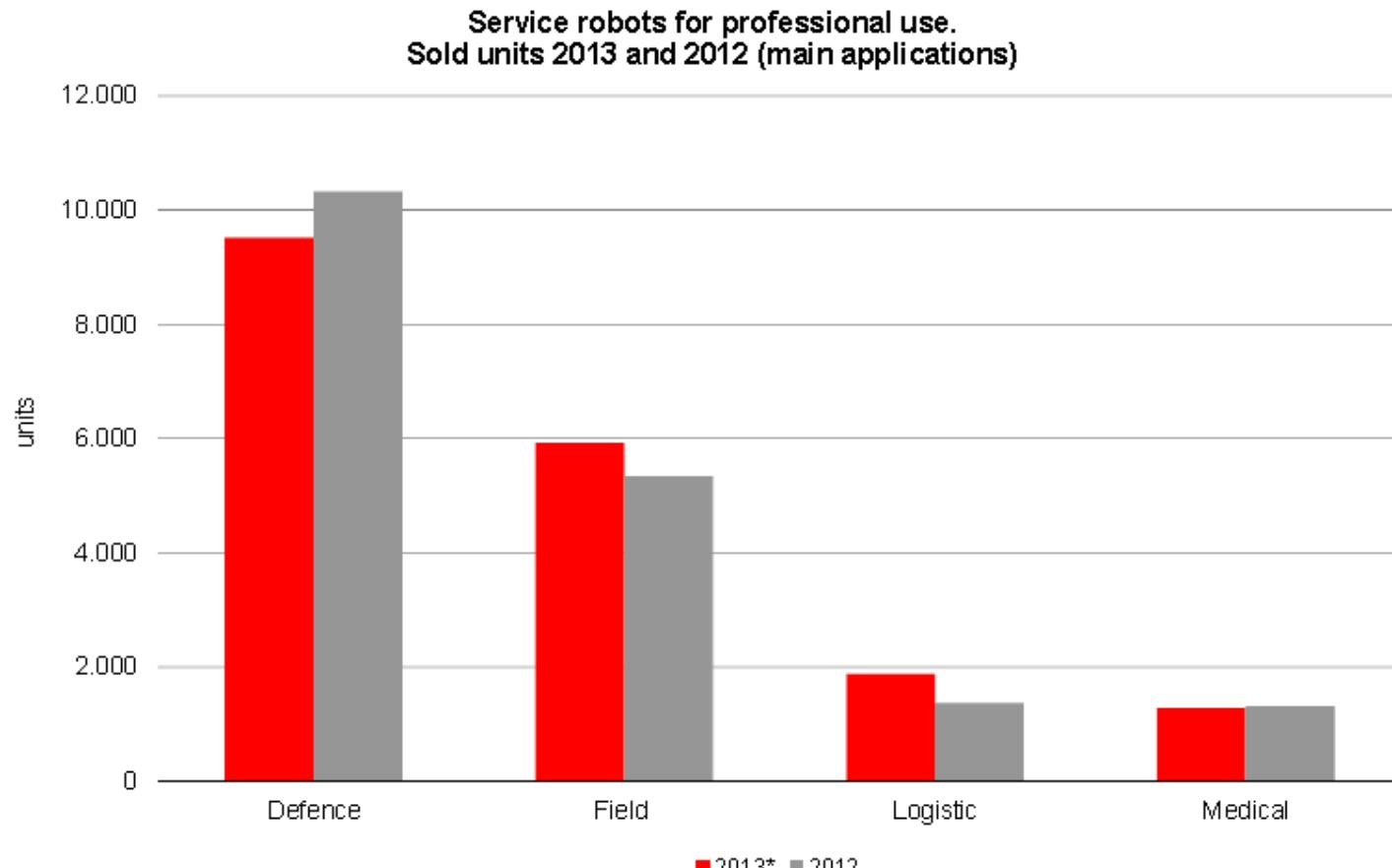
## Capitolul 1. Aspecte introductive

- 1.1 Momente semnificative din evoluția științei și tehnicii**
- 1.2 Geneza roboticii**
- 1.3 Definiții oficiale**
- 1.4 Relația dintre Mecatronică și Robotică**
- 1.5 Clasificarea roboților**
- 1.6 Dispozitive asimilate ca fiind structuri robotice**
- 1.7 De ce s-au impus roboții industriali**
- 1.8 SRR și IFR**
- 1.9 Parcul mondial de roboți industriali**
- 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor**

## 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor

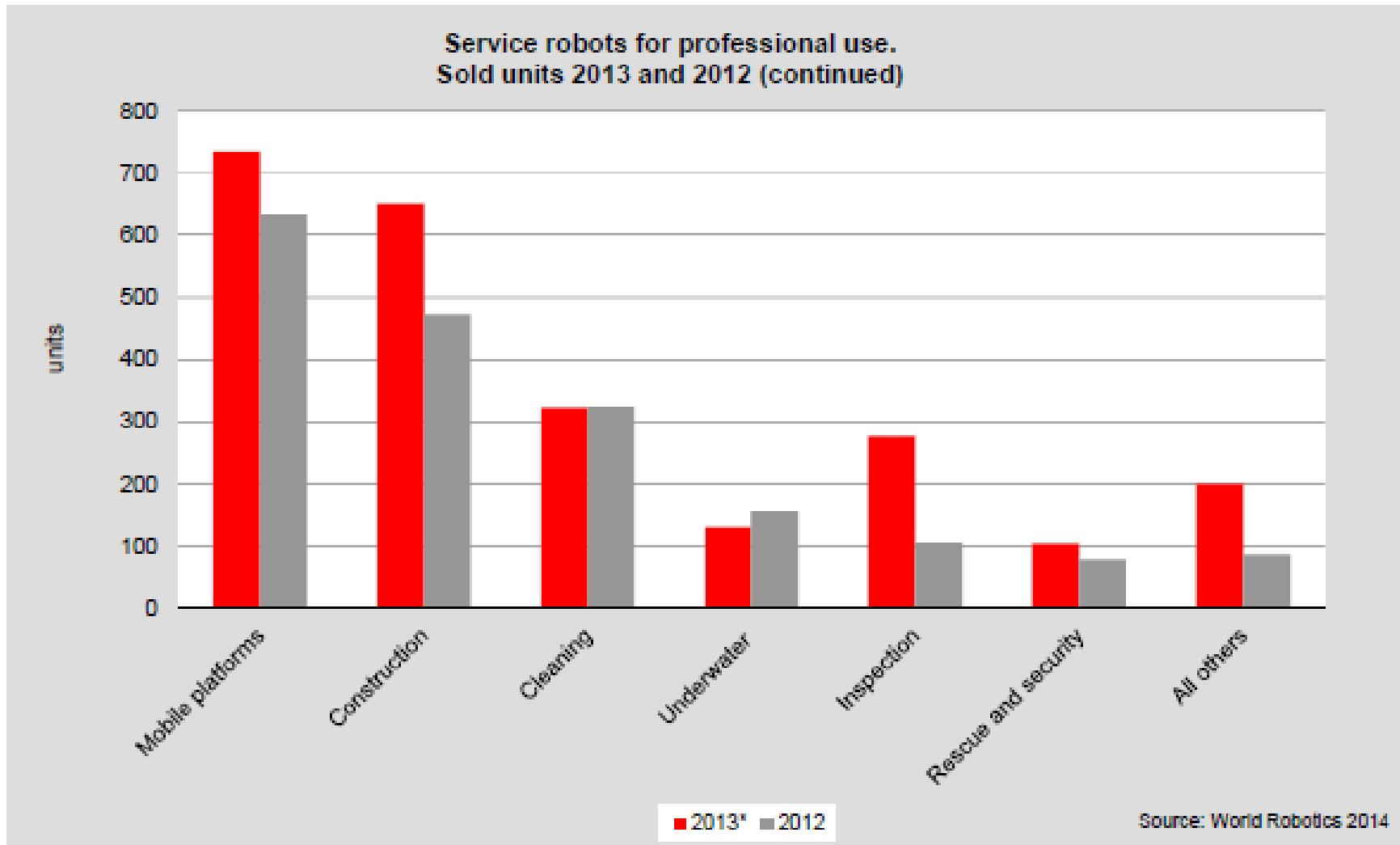


## 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor

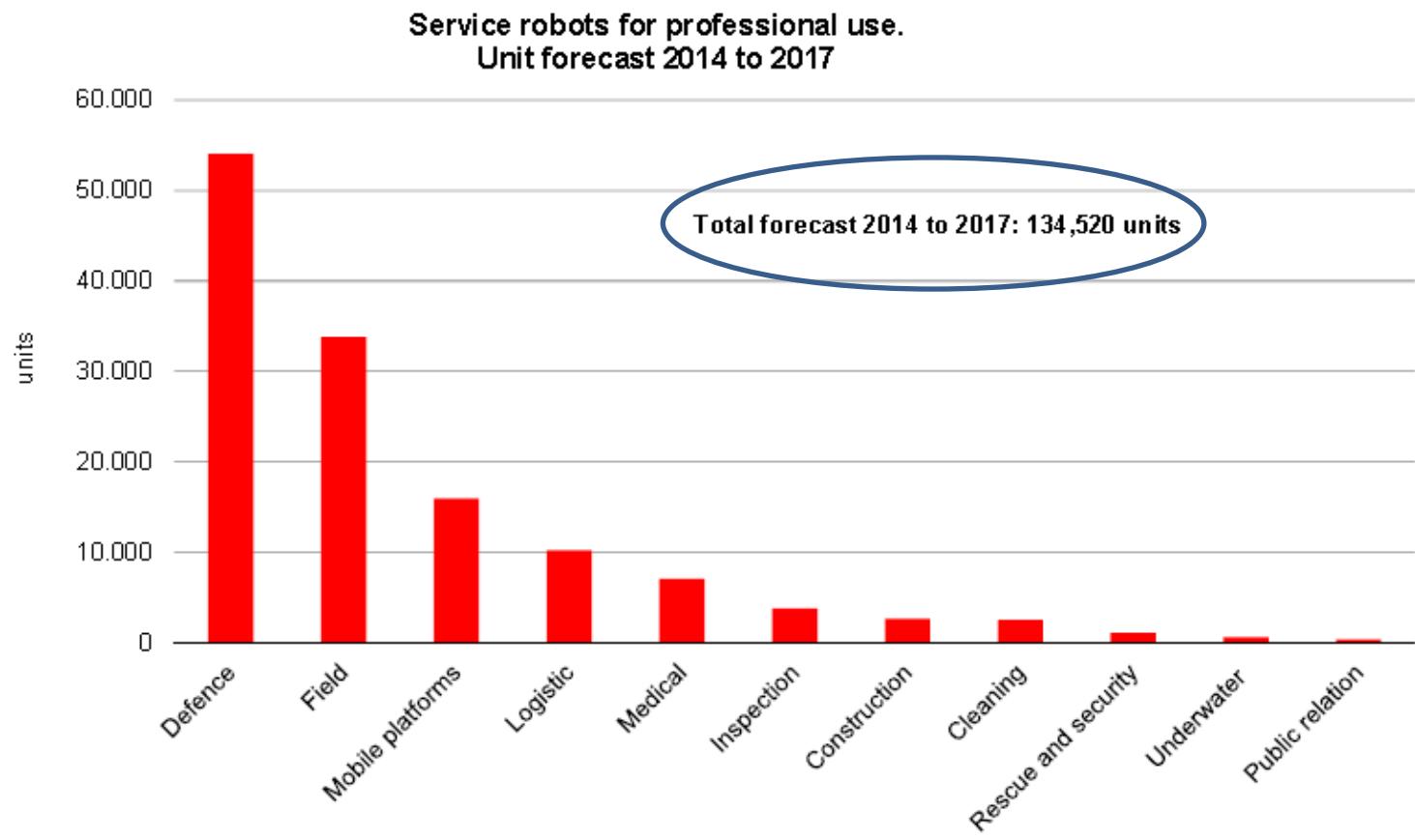


Source: IFR World Robotics 2014

## 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor

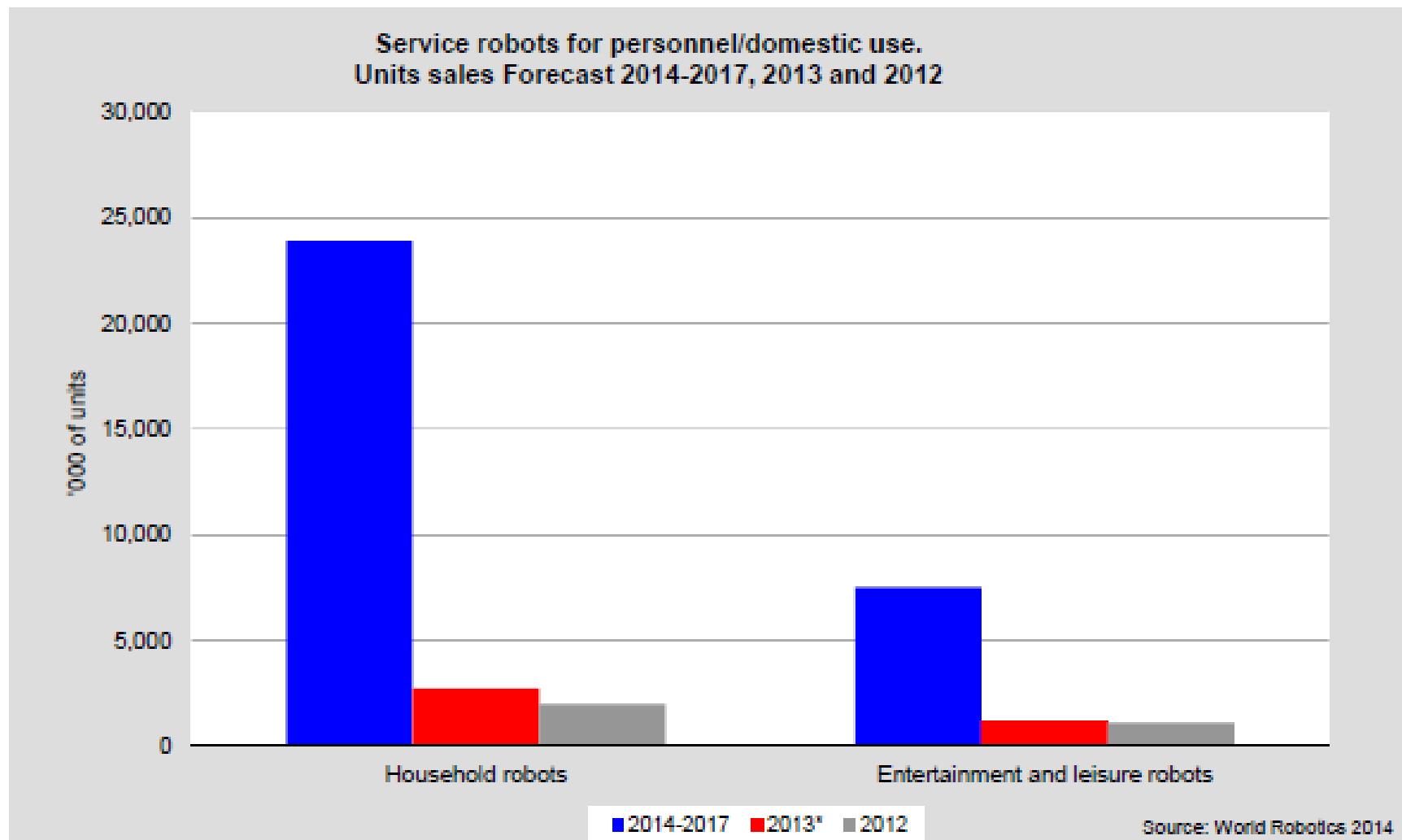


## 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor



Source: IFR World Robotics 2014

## 1.10 Parcul mondial de roboți destinați serviciilor



## Capitolul 1. Aspecte introductive

---

Dacă sunteți pasionați de construcții robotice (componente):

RoboFan: <http://www.robofun.ro/>

???

Robotics Business Review (Site & Newsletter):

<http://www.roboticsbusinessreview.com/>

???

# Capitolul 1. Aspecte introductive

---

Firme

Reis

Kuka

ABB

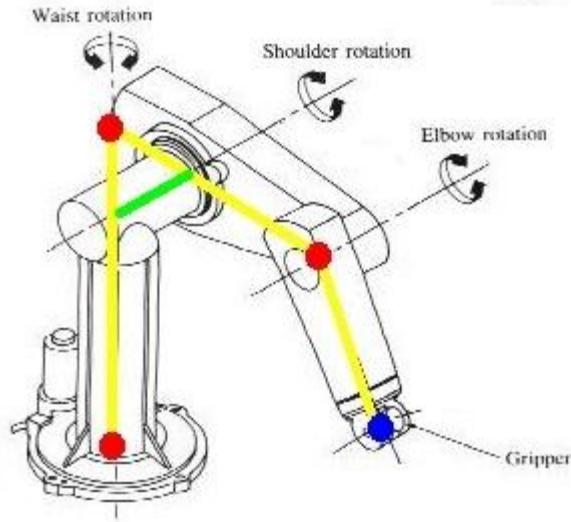
Yskawa

Mitsubishi

Adept

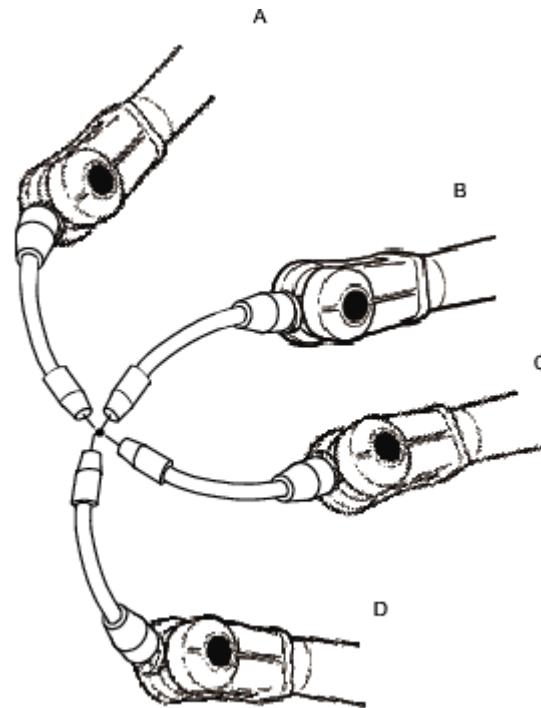
# Capitolul 1. Aspecte introductive

Segmente rigide cuplate prin articulații de rotație



# Capitolul 1. Aspecte introductive

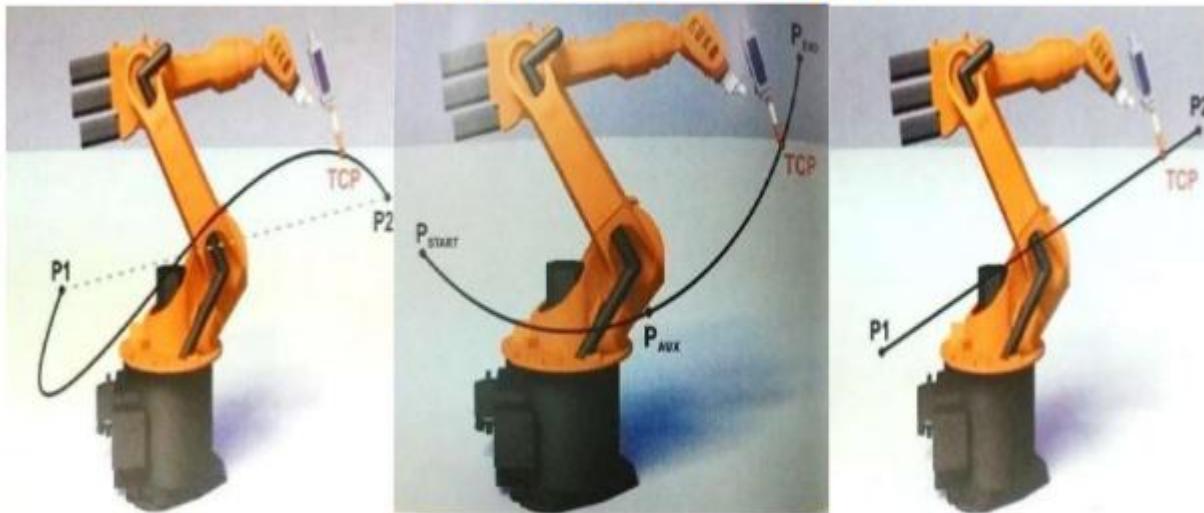
## ORIENTARE



# Capitolul 1. Aspecte introductive

## Tipuri de mișcare

### MOTION TYPES



PTP motion	CIRC motion	LIN motion
Point to point motion in which robot TCP follows the fastest possible path to travel from one point to another	Circular trajectory motion in which the robot TCP can traverse along the circular path made by three user defined points in 3D space	Linear trajectory motion in which the robot TCP can traverse the straight line joining two user defined points.

# Capitolul 1. Aspecte introductive

---

**END**

---

# Robotică / Bazele roboticii

*note de curs*

---

Prof. univ. dr. ing. Mircea NIȚULESCU

# CUPRINS

---

## **Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot**

### **2.1 Componentele sistemului robot**

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările**
- 2.1.2 Sursa energetică**
- 2.1.3 Spațiul de operare**
- 2.1.4 Programul funcțional**
- 2.1.5 Sistemul de conducere**

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

- 2.3.1 Sisteme centralizate de conducere**
- 2.3.2 Sisteme descentralizate de conducere**
- 2.3.3 Sisteme de conducere bazate pe compliantă**

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor**

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

---

- Atunci când ne referim la un robot există tendința naturală de a subînțelege numai o structură mecanică poliarticulată
- În realitate este vorba de un echipament cu mult mai complex, compus din blocuri funcționale bine definite și aflate permanent în strânsă corelație funcțională reciprocă

### CONCLUZIE:

- Întrucât structura mecanică este numai o componentă necesară dar nu și suficientă, denumirea generică de **sistem robot** este mai adecvată acestui echipament complex

# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### **2.1 Componentele sistemului robot**

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările**
- 2.1.2 Sursa energetică**
- 2.1.3 Spațiul de operare**
- 2.1.4 Programul funcțional**
- 2.1.5 Sistemul de conducere**

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

- 2.3.1 Sisteme centralizate de conducere**
- 2.3.2 Sisteme descentralizate de conducere**
- 2.3.3 Sisteme de conducere bazate pe compliantă**

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor**

## 2.1 Componentele sistemului robot

---

În structura unui sistem robot se pot evidenția **5 componente fundamentale**, din a căror intercondiționare rezultă funcționarea specifică:

1. Structura mecanică și acționările
2. Sistemul de conducere
3. Sursa energetică
4. Programul funcțional
5. Spațiul de operare

## 2.1 Componentele sistemului robot

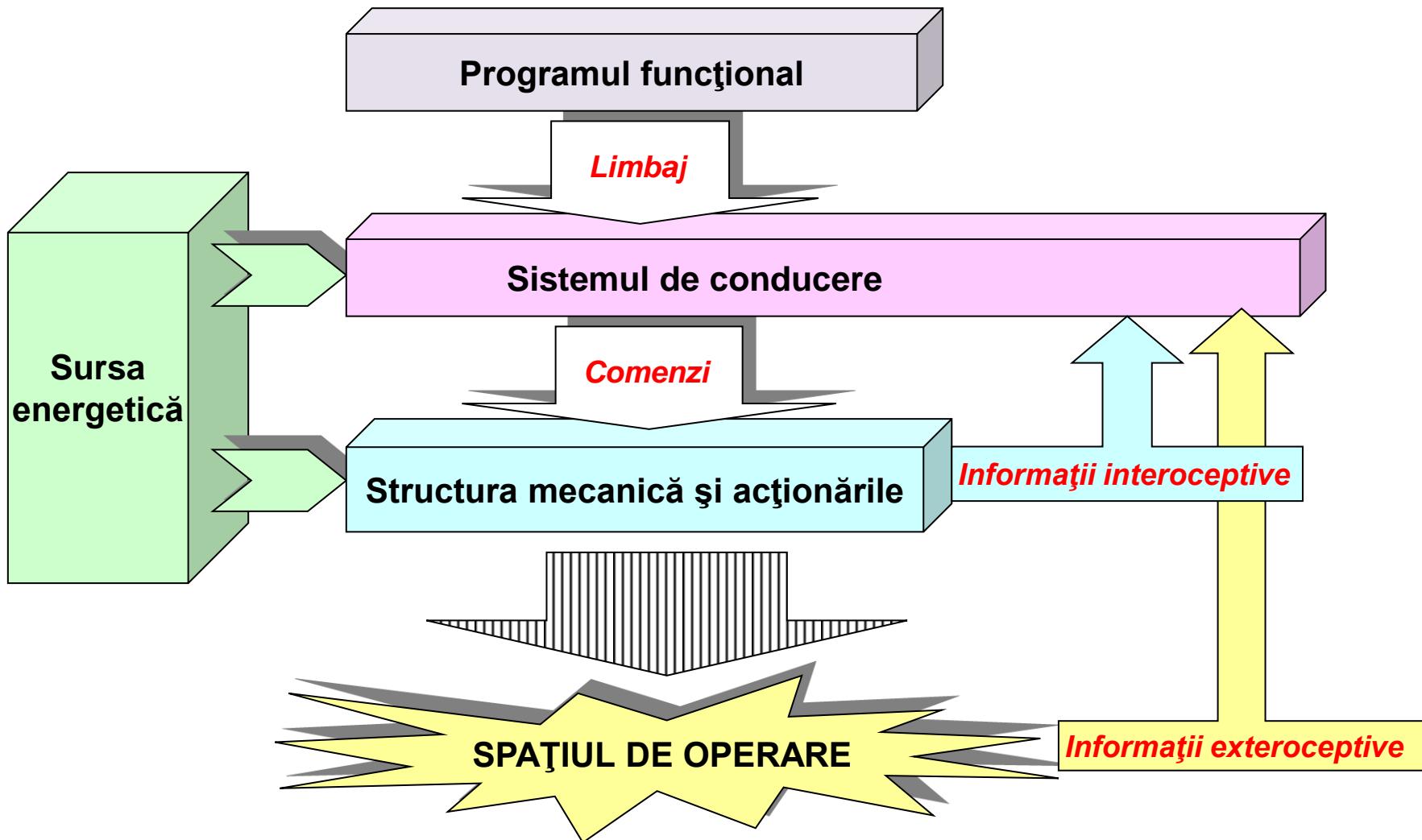


Fig. 2.1 Componentele unui sistem robot..

# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### **2.1 Componentele sistemului robot**

#### **2.1.1 Structura mecanică și acționările**

#### **2.1.2 Sursa energetică**

#### **2.1.3 Spațiul de operare**

#### **2.1.4 Programul funcțional**

#### **2.1.5 Sistemul de conducere**

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

#### **2.3.1 Sisteme centralizate de conducere**

#### **2.3.2 Sisteme descentralizate de conducere**

#### **2.3.3 Sisteme de conducere bazate pe compliantă**

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

#### **2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**

#### **2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**

#### **2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**

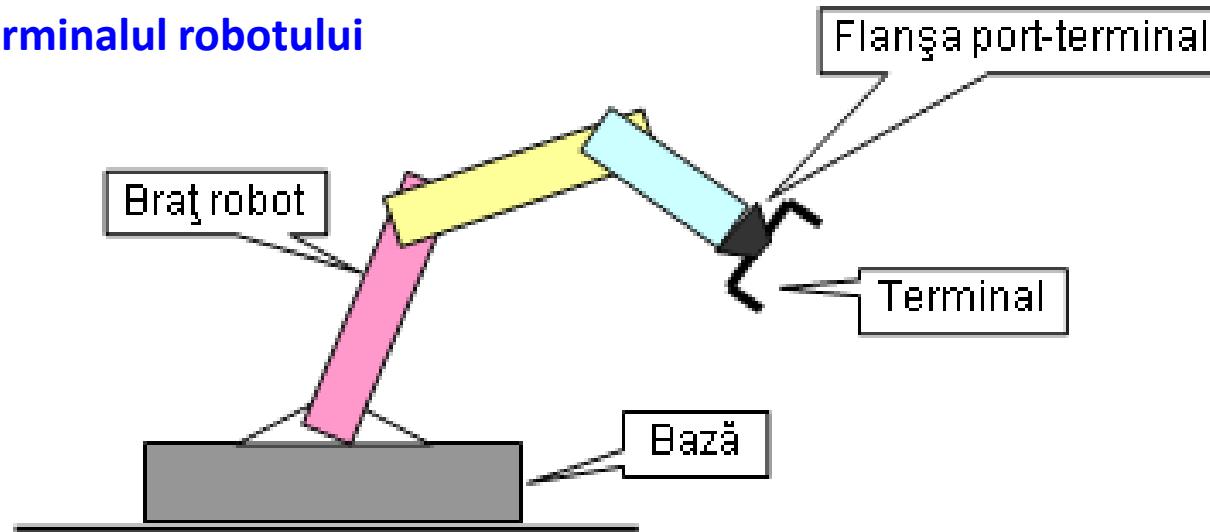
#### **2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**

#### **2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor**

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

**Acest bloc are rolul realizării efective a mișcărilor programate, în anumite condiții de calitate.**

- Structura mecanică a unui robot poate avea forme extrem de diverse, dar în general pot fi evidențiate **4 părți constitutive**:
  - **Baza**
  - **Brațul**
  - **Flanșa port-terminal**
  - **Terminalul robotului**



**Fig. 2.2 Componentele fundamentale ale structurii mecanice a sistemului robot.**

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

Structura - bloc prezentată în Fig. 2.2 este una fundamentală, existând și diferite configurații particulare:

- *cu mai multe brațe robot*
- *cu un singur braț, dar cu mai multe terminale* etc.

Soluțiile adoptate pentru realizarea structurii mecanice au un rol esențial asupra **performanțelor întregului sistem robot**, cum ar fi:

- **Sarcina maximă** care poate fi atașată la flanșa port - terminal
- **Spațiul de operare**
- **Precizia**
- **Viteza și accelerarea maximă** de execuție a mișcărilor
- **Modularitatea**
- **Versatilitatea** robotului în fața diferitelor clase de aplicații
- **Ușurința întreținerii și depanării** etc.

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

Sistemul senzorial amplasat pe structura mecanică furnizează sistemului de conducere informații despre "lumea internă a robotului", motiv pentru care ele sunt numite **informații interoceptive** (sau **informații proprioceptive**)

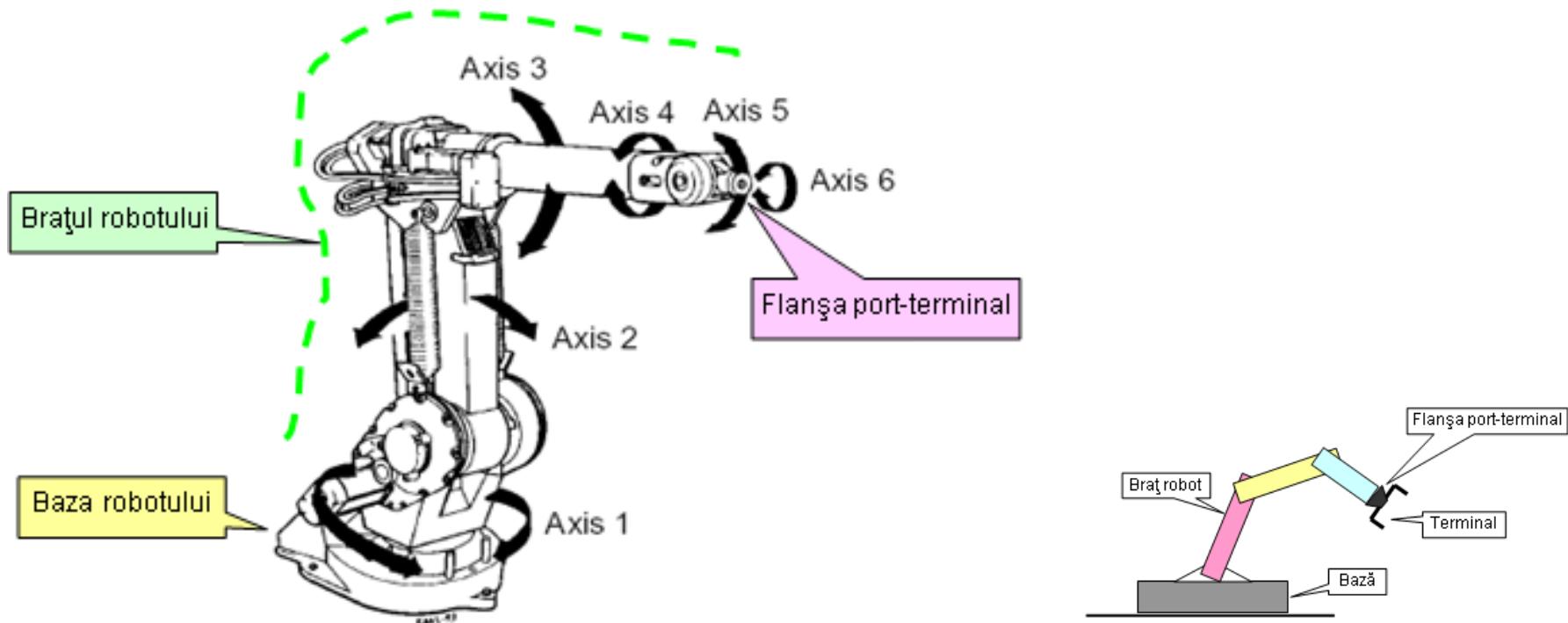


Figura 2.3 Structura mecanică a robotului IRB 1400 în vedere de ansamblu.

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

### a. Baza robotului

- Este o componentă mecanică masivă ( $x1Kg - x100Kg$ ), de tip **batiu**
- **Asigură stabilitatea robotului** pentru orice regim dinamic atins în timpul funcționării
- Baza se montează suplimentar pe **o fundație solidă** (de regula din beton, cca.  $1m^3$  sau mai mult, de care este prinsă rigid)

### OBSERVAȚIE:

- Pentru clasa particulară a roboților mobili, **baza este mobilă și asigură funcția de motricitate**, ceea ce permite **deplasarea întregului sistem robot** în scena de operare.

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

### b. Brațul robotului (uneori denumit și *manipulator*)

- Are o configurație geometrică variabilă, obținută prin legarea în serie (cascadă) a mai multor **segmente rigide**, interconectate reciproc prin **articulații mecanice**
- Din considerente practice, **articulațiile mecanice sunt cu un singur grad de libertate**:
  - de tip **translație (T)**
  - de tip **rotație (R)**
- **Mobilitate fiecărei articulații se realizează printr-o acționare proprie**
  - **OBS:** *Soluțiile constructive uzuale ale roboților industriali folosesc articulații cu un singur grad de libertate și ca urmare numărul articulațiilor coincide cu cel al acționărilor*
- **Articulația este controlată de un sistem senzorial** care include în primul rând (obligatoriu) **senzori de poziție (deplasare)**, adeseori și alți senzori:
  - **viteză**
  - **accelerație**
  - **forță sau moment**
  - **OBS:** *Toți acești senzori furnizează o parte importantă din informațiile interoceptive*

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

### b. Brațul robotului (continuare)

Există două soluții principale folosite în amplasarea acționărilor

1. **Amplasarea acționării direct în articulație**, ceea ce:
  - **AVANTAJ:** Simplifică evident transmisia mișcării acționare – articulație
  - **DEZAVANTAJ:** Conduce la creșterea greutății brațului robot și deci la necesitatea unor acționări mai puternice
2. **Amplasarea acționărilor în baza robotului (sau cel puțin în segmentele inferioare ale brațului):**
  - **AVANTAJ:** Efectul constă în dimensiuni de gabarit mai reduse ale brațului, acționări cu puteri mai mici
  - **DEZAVANTAJ:** Sunt necesare **lanțuri cinematice deformabile** care să transmită mișcarea de la fiecare acționare către articulația comandată

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### b. Brațul robotului (continuare)

**Amplasarea acționării direct în articulație:**

- **AVANTAJ:** Simplifică evident transmisia mișcării acționare – articulație
- **DEZAVANTAJ:** Conduce la creșterea greutății brațului robot și deci la necesitatea unor acționări mai puternice

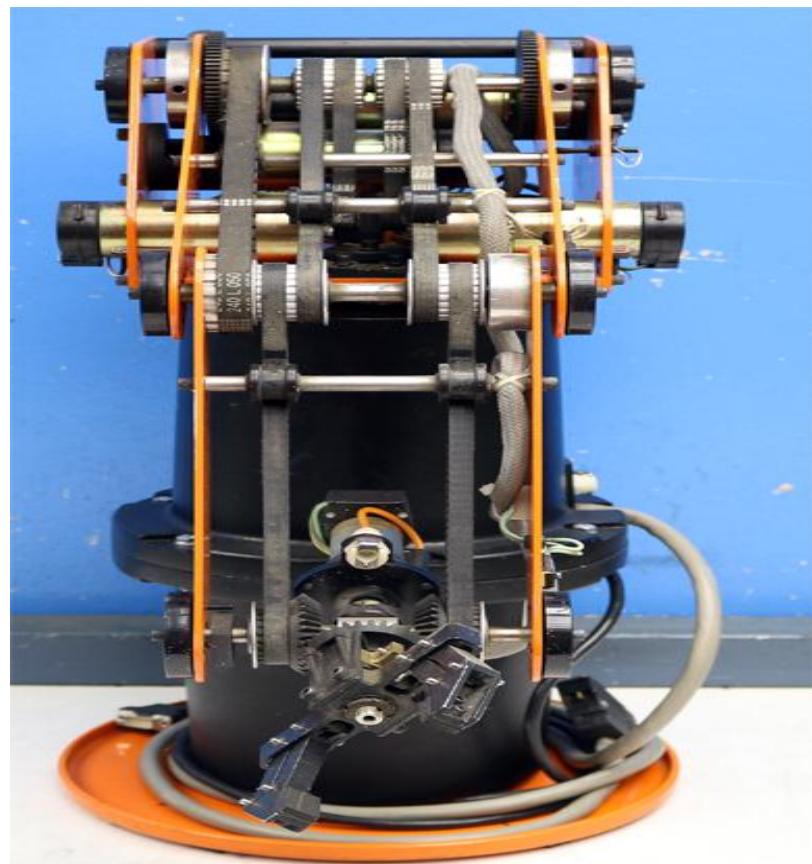
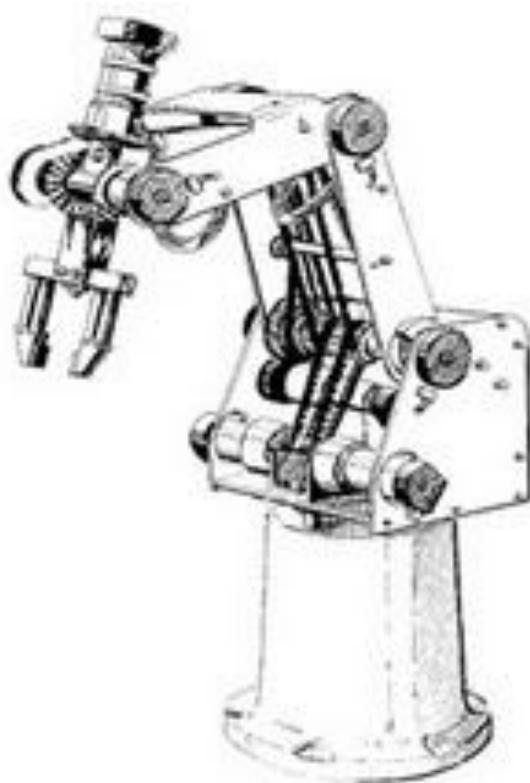


## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### b. Brațul robotului (*continuare*)

**Amplasarea acționărilor în baza robotului (sau în partea sa inferioară)**

- **AVANTAJ:** Dimensiuni de gabarit mai reduse ale brațului, acționări cu puteri mai mici
- **DEZAVANTAJ:** Lanțuri cinematice deformabile care transmit mișcarea de la fiecare acționare către articulația comandată



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

### c. Flanșa port - terminal

- Este de regulă ultimul element mecanic din vârful brațului robot **în structura livrată de producător**.
- Este o flanșă prevăzută cu mai multe **prelucrări mecanice de tip găuri simple sau filetate**.
- În funcție de aplicația pe care o va realiza robotul, **flanșa permite atașarea terminalului adecvat**:
  - De regulă: printr-o **îmbinare nedemontabilă de tip surub – piuliță**
  - Uneori (pentru anumite aplicații cum ar fi de exemplu unele din clasa asamblărilor): de flanșă port - terminal poate fi atașat **un dispozitiv mecanic special care introduce compliantă pasivă** și care, prin sistemul său intern de resorturi sau lamele mecanice deformabile permite o ușoară mobilitate relativă a terminalului robot față de brațul acestuia, favorizând operațiile de asamblare.

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### c. Flanșa port – terminal (continuare)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### c. Flanșă port – terminal (continuare)

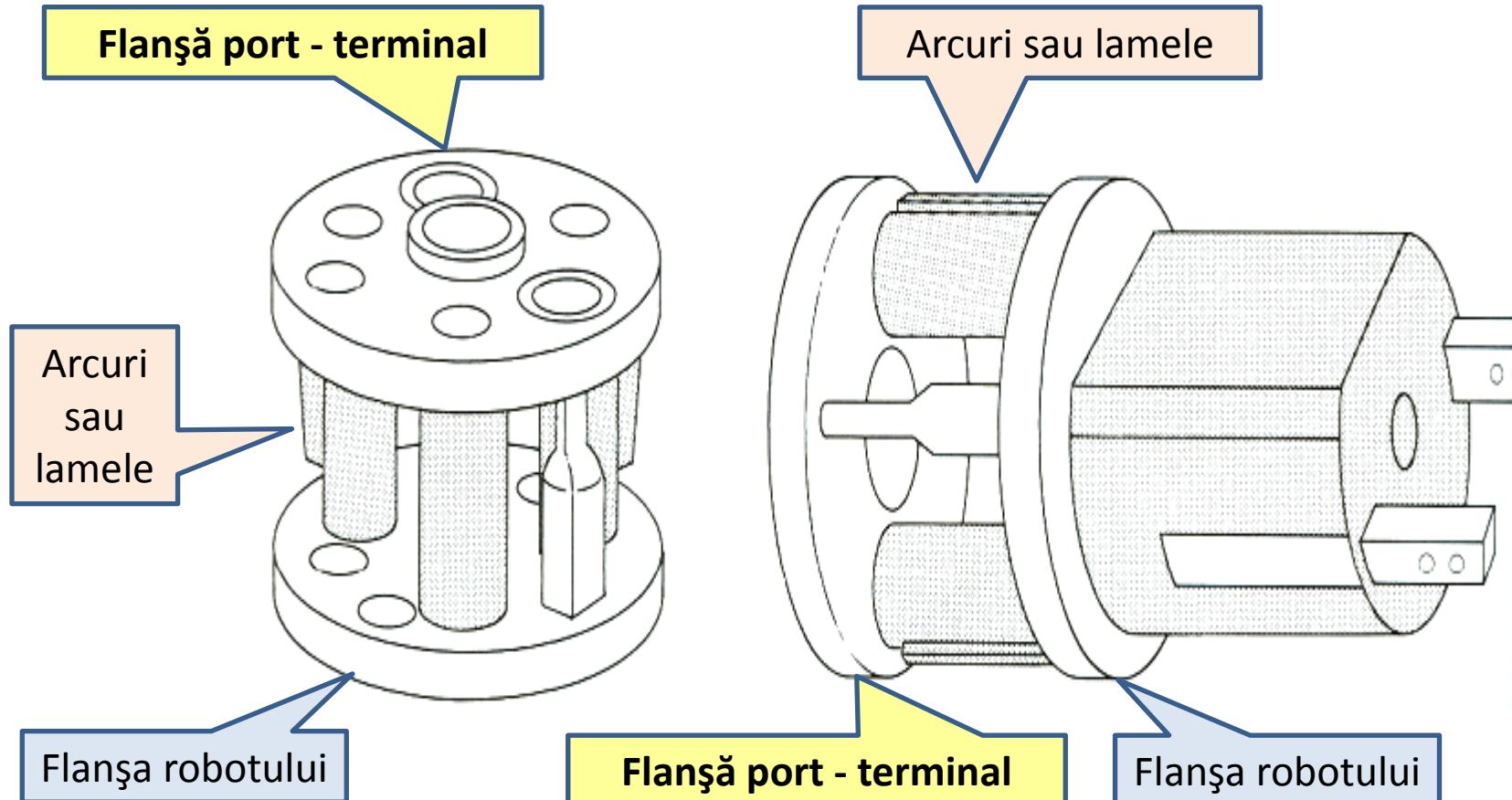
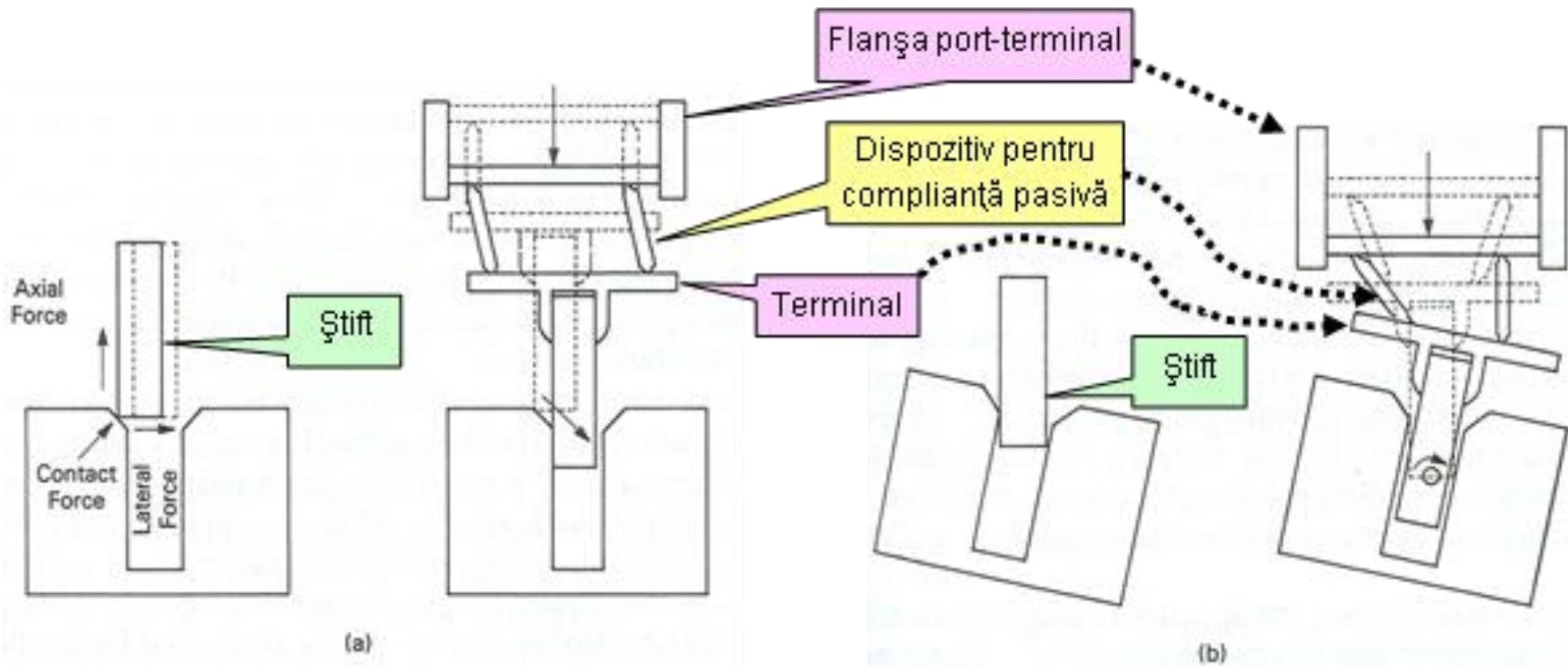


Fig. 2.4 Aspectul general al unui dispozitiv de compliantă pasivă.

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### c. Flanșa port – terminal (continuare)



**Fig. 2.5** Asamblarea robotizată a unui știft într-o piesă folosind un dispozitiv de compliantă pasivă cu lamele elastice (intercalat între flanșa port-terminal și terminalul robotului):

- (a) în cazul existenței unei erori laterale știft – gaură
- (b) în cazul existenței unei erori de rotație știft – gaură

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

### d. Terminalul robotului

- Este un dispozitiv care **poate să aibă forme și structuri extrem de diverse, în strânsă legătură cu aplicația pe care o realizează robotul**
  - Din acest motiv mai este denumit generic și **efector**
- **Terminalul / efectorul** reprezintă elementul prin care **robotul realizează funcția tehnologică în aplicație**, interacționând direct cu mediul înconjurător

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

### d. Terminalul robotului (continuare)

În cazul general, un terminal robot conține mai multe elemente:

- **O structură mecanică adecvată funcției tehnologice cerută de aplicație**
- **Un sistem de acționare propriu:**
  - De același tip cu cel al robotului
  - Diferit de cel al robotului (adesea terminalele cu acționări pneumatice sunt preferate din mai multe motive, chiar dacă acționările robotului propriu-zis sunt de altă natură, spre exemplu electrice)
- **Un sistem senzorial adecvat care identifică**
  - Numai regimurile critice (de exemplu Activ / Inactiv, Închis / Deschis etc.)
  - Oferă informații exteroceptive mai ample cum ar fi:
    - Prezența / Absența obiectului
    - Forma conturului său plan
    - Poziția relativă a obiectului față de băcurile unui gripper
    - Forța de contact cu obiectul prelucrat etc.

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

**Dependența strictă de aplicație face ca proiectarea și realizarea terminalelor (efectorilor) robot să revină de regulă celui care dezvoltă aplicația robotizată și nu producătorului robotului.**

În practică există următoarele soluții:

- Firme specializate pentru astfel de dispozitive (ex. **SCHUNK**)
- Producători de roboți care pun la dispoziția dezvoltatorilor de aplicații robotizate terminale pentru diferite clase de operații; acestea pot fi ușor adaptate la cerințele specifice aplicației
- Producătorul robotului oferă propria competență și experiență pentru executarea la comandă a terminalului solicitat de beneficiar

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

**Exemple tipice de terminal robot (efector robot):**

1. **Gripper** (pentru aplicații de manipulare, paletizare, depaletizare)
2. **Pistol de vopsire** (pentru aplicații de vopsire)
3. **Clește de sudură** (pentru aplicații de sudură în puncte)
4. **Pistol de sudură continuă** (pentru aplicații de sudură cu cordon de sudură)
5. **Senzor de contact 3D** (pentru aplicații de control dimensional 3D)
6. **Dispozitiv de tăiere** (pentru aplicații de tăiere)
7. **Dispozitiv de polizare** (pentru aplicații de finisare / debavurare)
8. **Dispozitiv de găurire** (pentru aplicații de găurire)
9. **Pistol cu jet de apă** (pentru aplicații de decupare în diferite materiale)
10. **Pistol laser** (pentru aplicații de decupare în materiale metalice)
11. **Pistol de adezivi** (pentru aplicații de depunere a adezivilor)
12. **Pistol de creme** (pentru aplicații de tip decorare gastronomică)
13. **Terminale neconvenționale** (exemplu **softgripper**)

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

### d. Terminalul robotului (continuare)

#### 1. Gripper

În aplicațiile ***pick and place*** (manipulare, paletizare, depaletizare), cele mai răspândite aplicații ale roboților, deoarece terminalul robot trebuie să asigure **funcția de prindere - eliberare a diferitelor obiecte**, el este denumit ***gripper*** sau ***element de prehensiune*** (Fig. 2.6)

#### OBSERVAȚII:

- **Manipulare:** prinderea unui obiect într-un **PI (punct inițial) unic**, deplasarea și eliberarea sa într-un **PF (punct final) unic**
- **Paletizare:** prinderea unui obiect existent într-un **PI unic** și deplasarea sa într-un **PF diferit** (dintr-o structură ordonată)
- **Dapaletizare (operația inversă paletizării):** prinderea unui obiect existent într-un **PI diferit** (dintr-o structură ordonată) și deplasarea sa într-un **PF unic.**

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

#### 1. Gripper

Există mai multe tipuri de grippere:

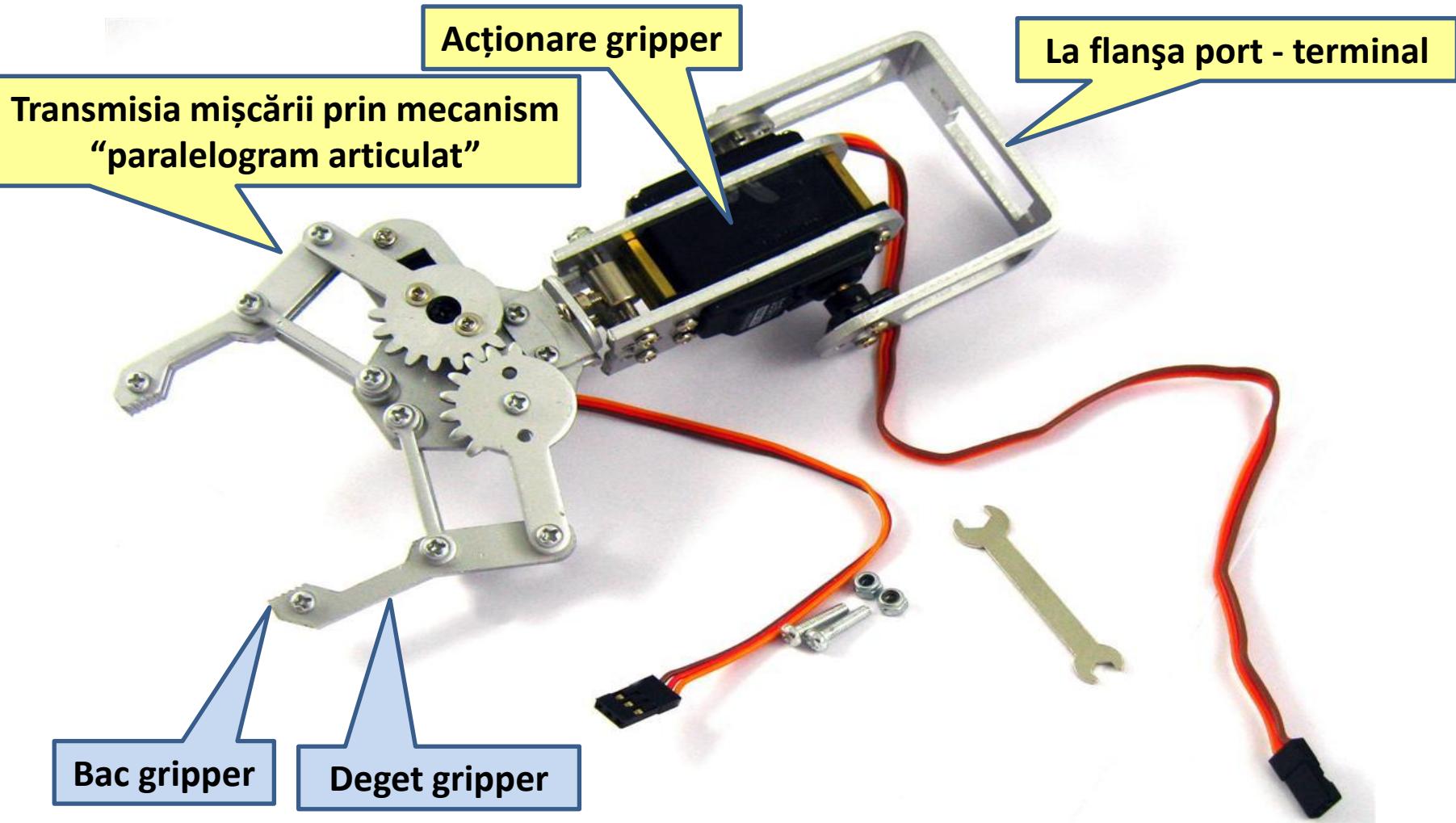
- Gripper cu 2 degete/bacuri
- Gripper cu 3 degete/bacuri
- Gripper cu 4 degete/bacuri
- Gripper cu mai multe puncte de prindere (*multi-fingered grippers*)
- Gripper cu vacuum (pentru obiecte fragile sau prinderi unilaterale)

Gripper-ele cu degete/bacuri pot folosi mai multe principii constructive:

- Cu degete/bacuri în mișcare de translație
- Cu degete/bacuri în mișcare de rotație
- Gripper cu 2 degete/bacuri pentru prinderi interioare

## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

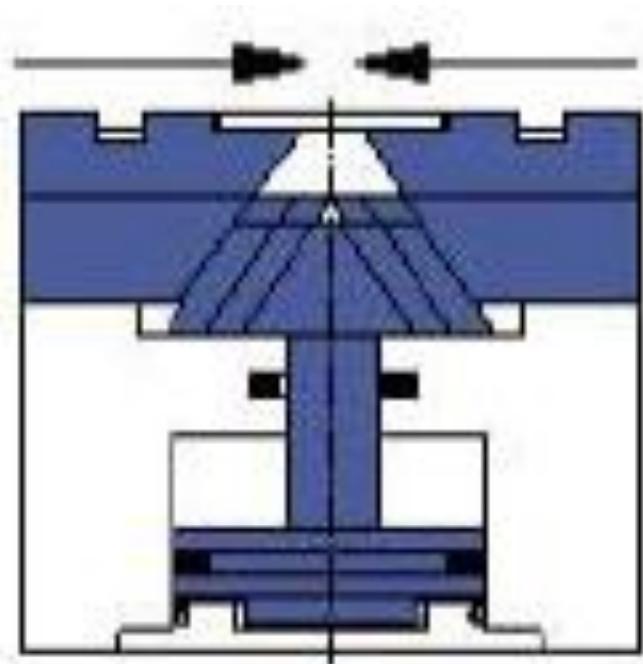
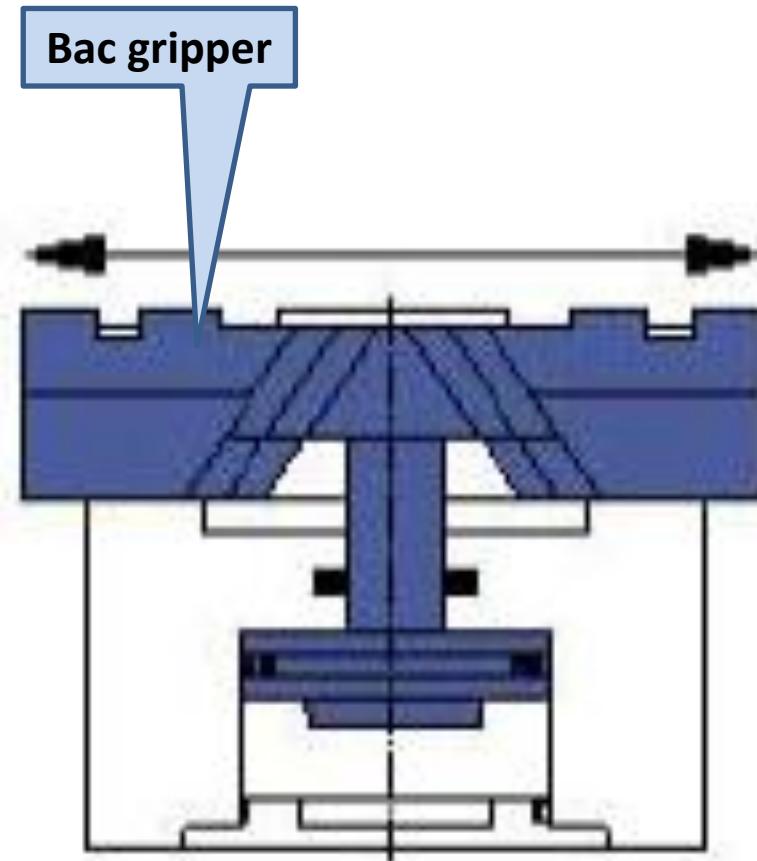
### d. Terminalul robotului (continuare) - Gripper cu 2 degete



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

Gripper cu 2 degete/bacuri în mișcare de translație

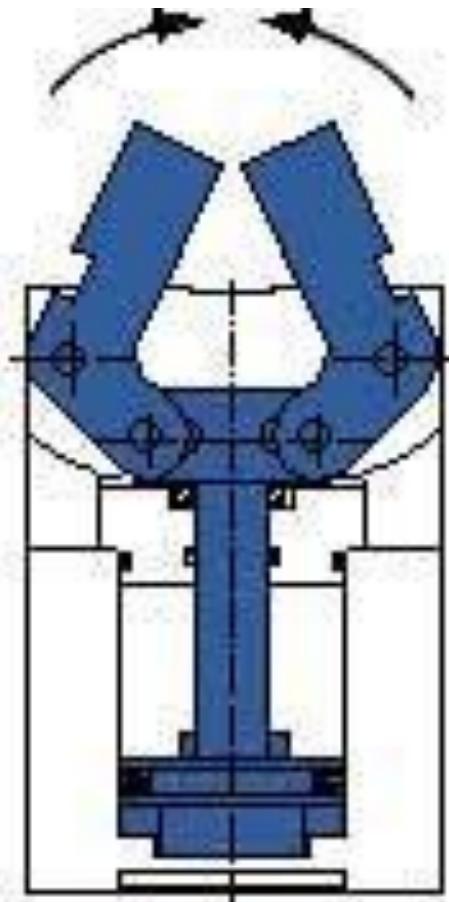
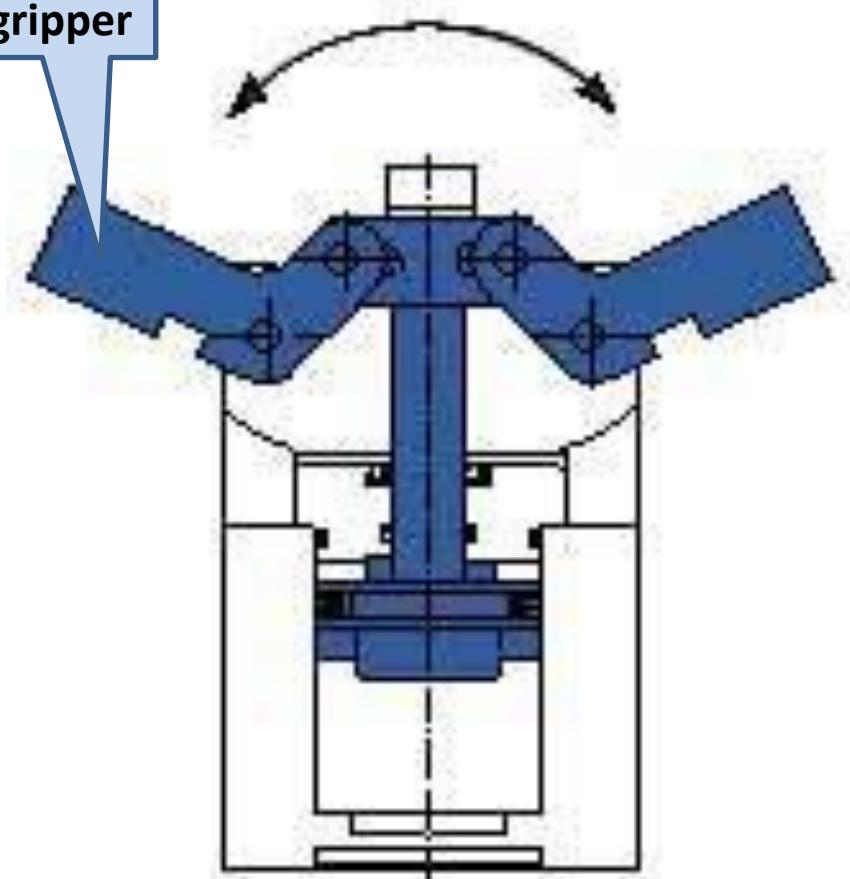


## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (continuare)

Gripper cu 2 degete/bacuri în mișcare de rotație

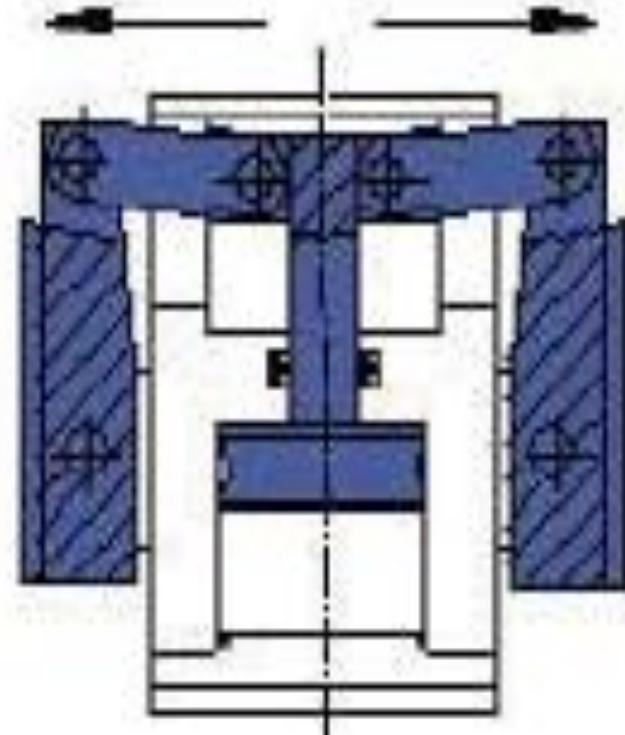
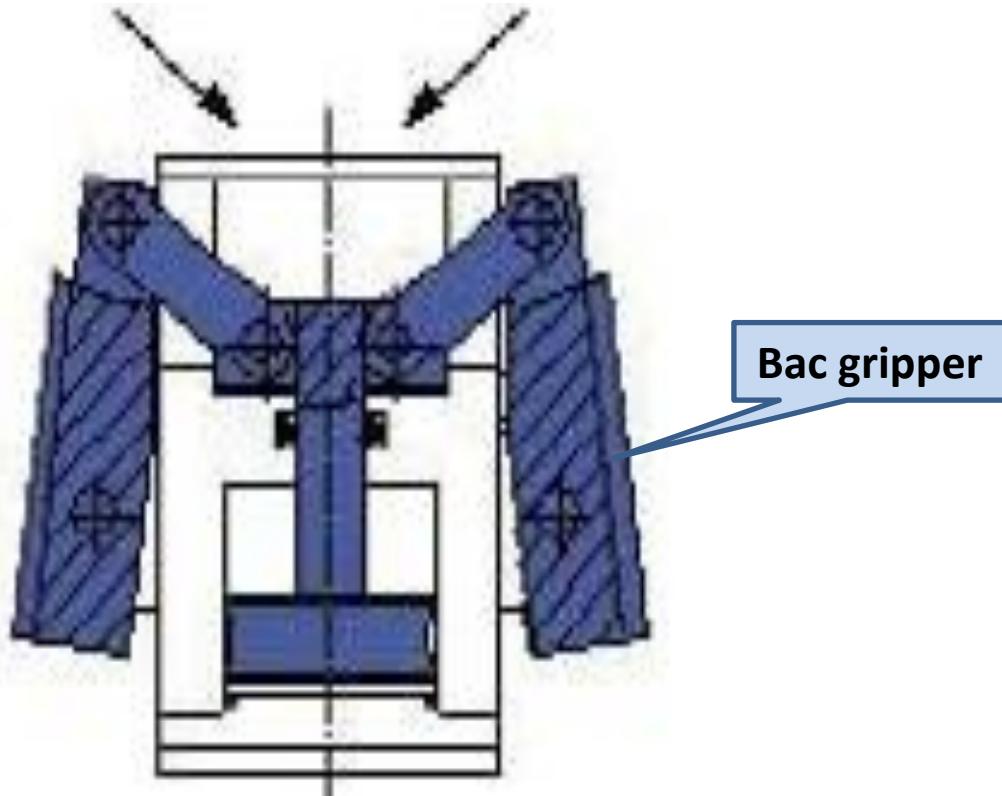
Bac gripper



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

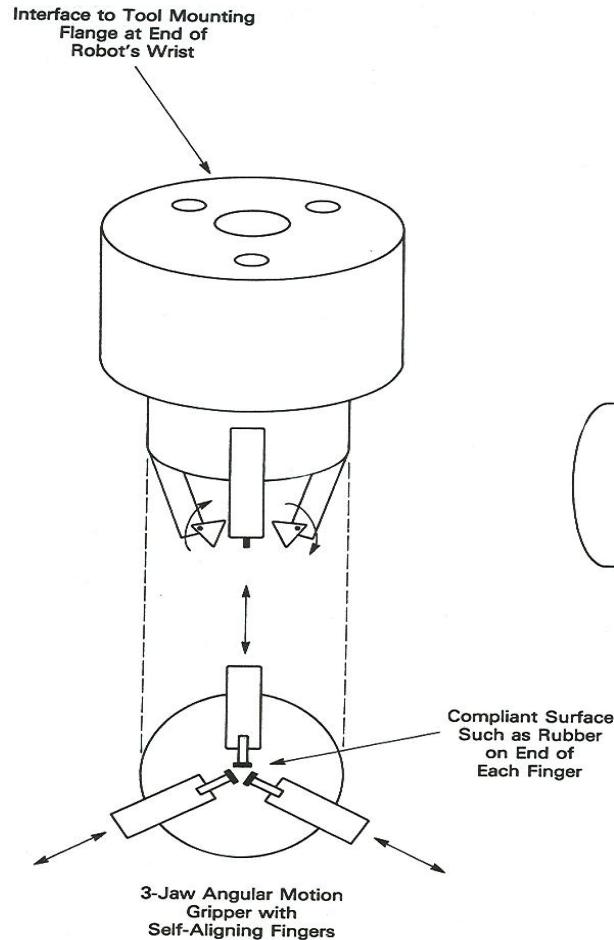
Gripper cu 2 degete/bacuri pentru prinderi interioare



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (continuare)

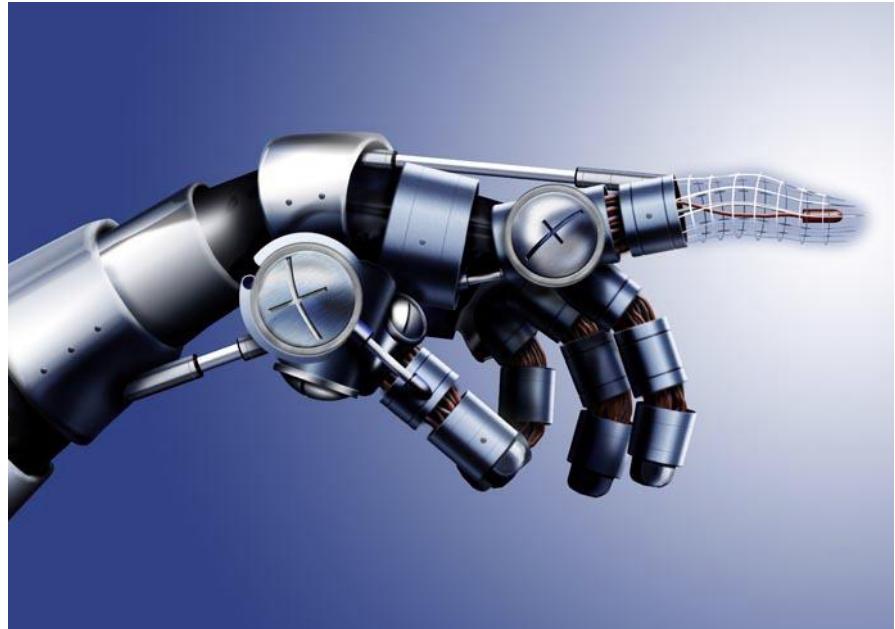
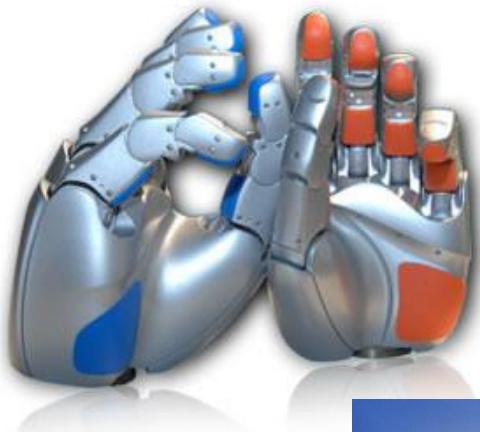
#### Gripper cu 3 degete/bacuri



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (continuare)

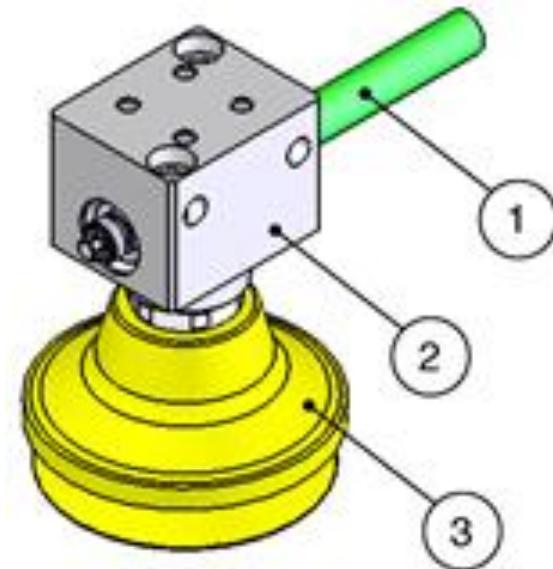
Gripper cu mai multe puncte de prindere (*multi-fingered*)



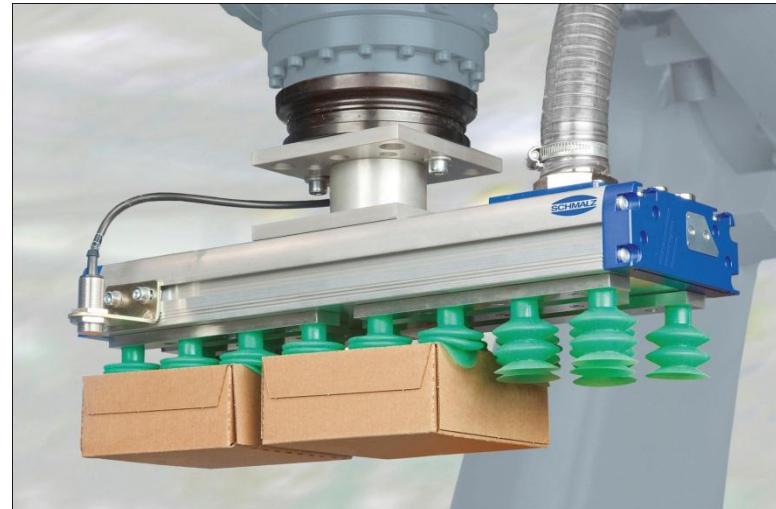
## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (continuare)

Gripper cu vacuum (ventuze) pentru obiecte fragile și prinderi unilaterale



- 1) Compressed Air Line
- 2) Vacuum Generator
- 3) Vacuum Cup



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

---

d. Terminalul robotului (*continuare*)

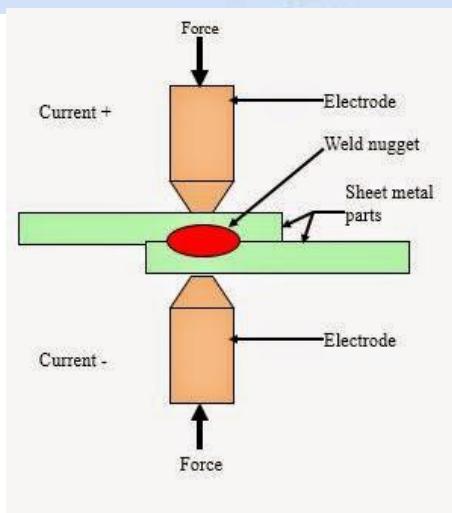
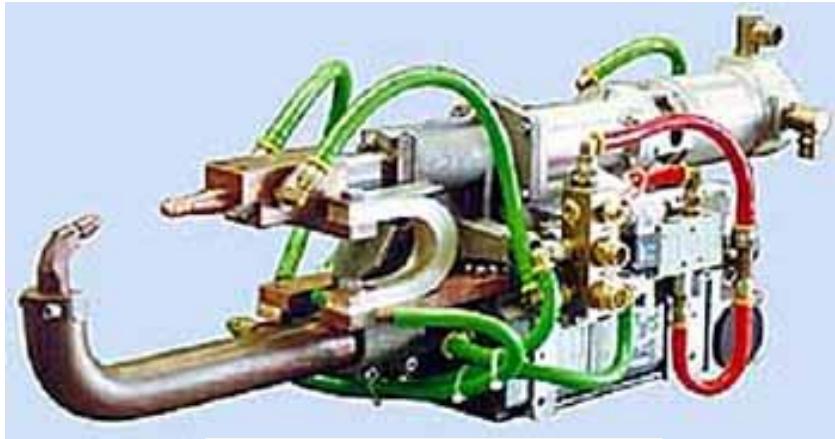
2. Pistol de vopsire (pentru aplicații de vopsire)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (continuare)

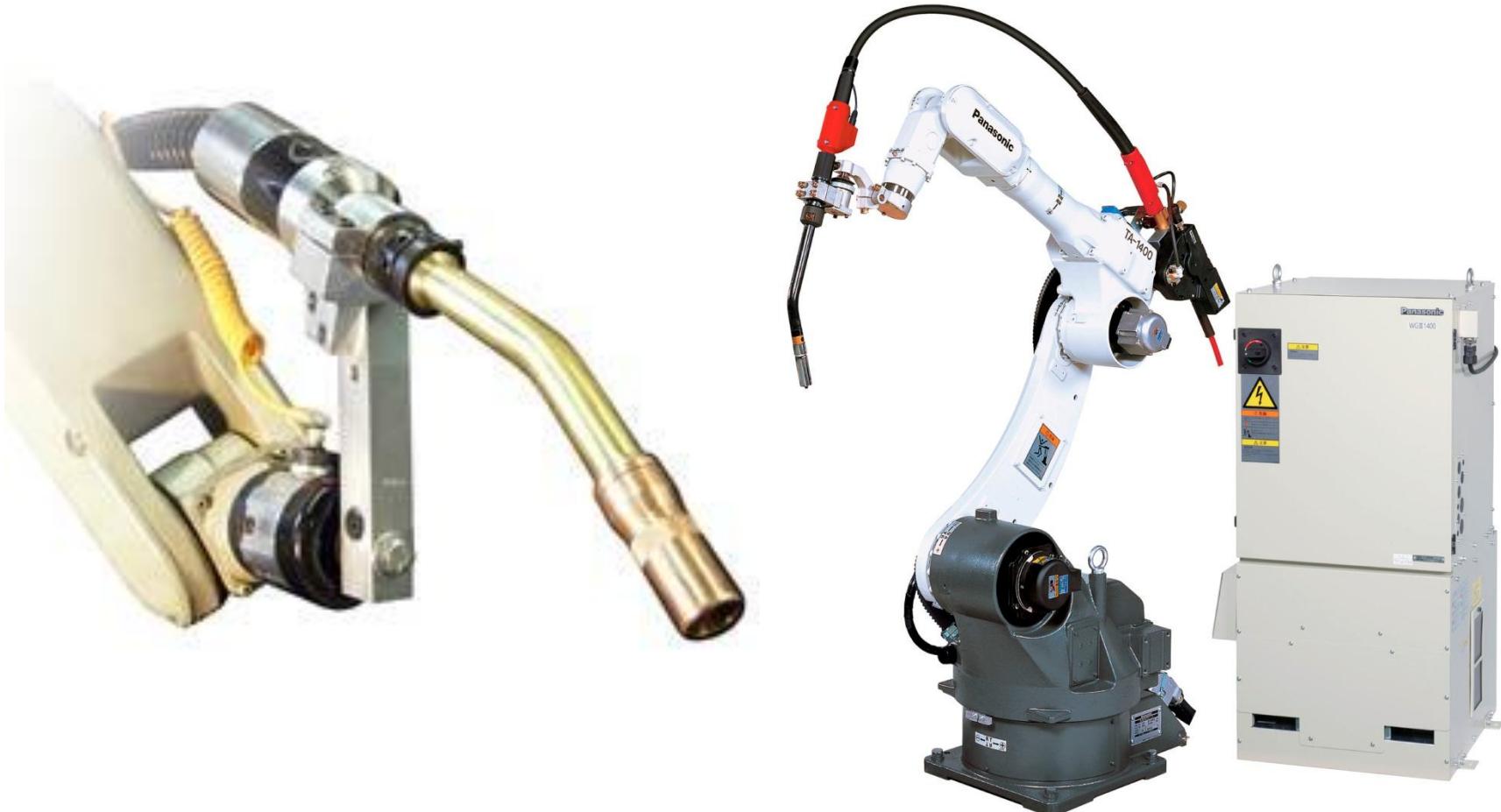
#### 3. Clește de sudură (pentru aplicații de sudură în puncte)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

#### 4. Pistol de sudură continuă (pentru sudură cu cordon)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (continuare)

#### 5. Senzor de contact 3D (pentru control dimensional 3D)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

#### 6. Dispozitiv de tăiere (pentru aplicații de tăiere)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

#### 7. Dispozitiv de polizare (aplicații finisare/debavurare)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

#### 8. Dispozitiv de găurire (pentru aplicații de găurire)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

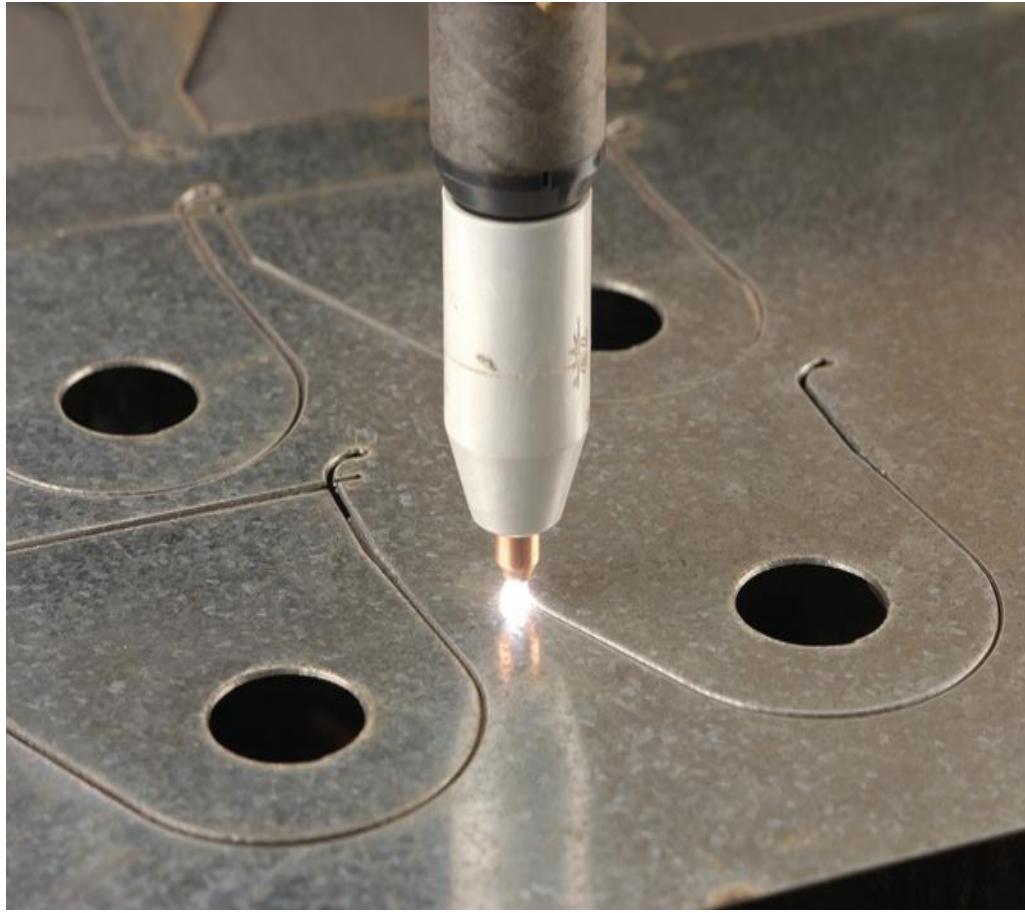
#### 9. Pistol cu jet de apă (decupare în materiale)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (continuare)

#### 10. Pistol laser (decupare în materiale metalice)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (*continuare*)

#### 11. Pistol de adezivi (depunerea adezivilor)



## 2.1.1 Structura mecanică și acționările

### d. Terminalul robotului (continuare)

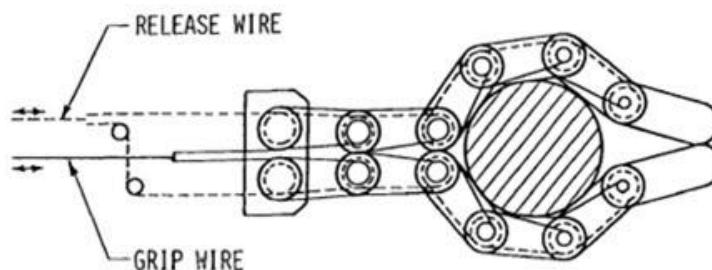
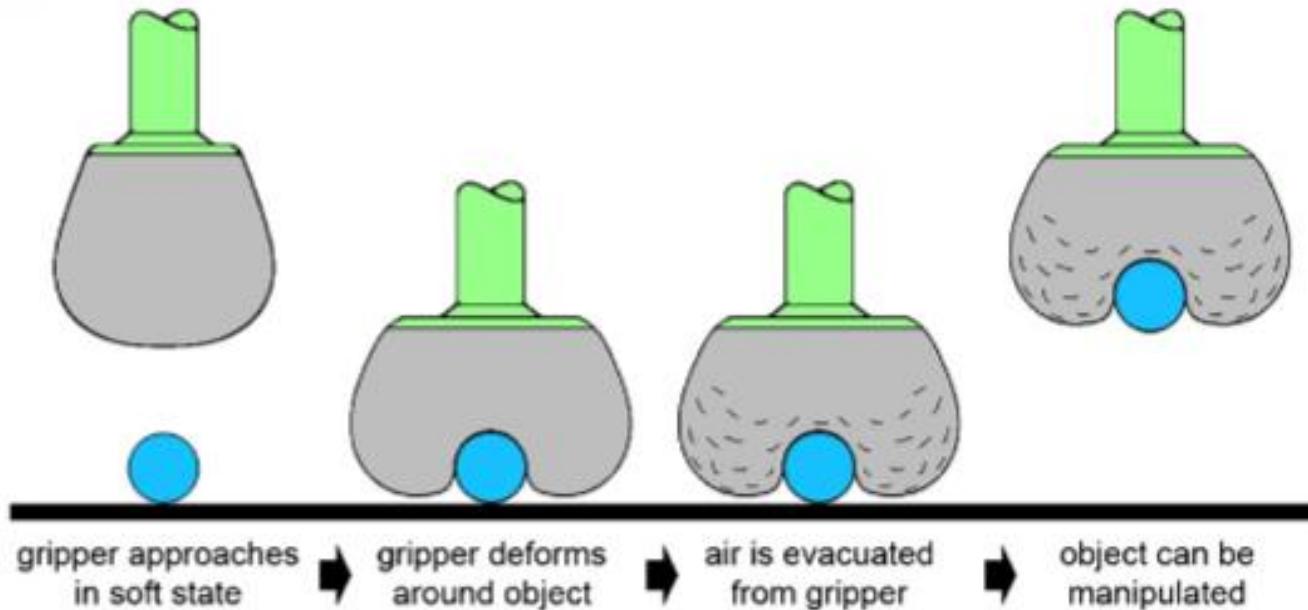
#### 12. Pistol de creme (decorare gastronomică)



## 2.1.1 Structura mecanică și acțiunările

### d. Terminalul robotului (continuare)

#### 13. Terminale neconvenționale (ex. *Soft-grippers*)



# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### **2.1 Componentele sistemului robot**

2.1.1 Structura mecanică și acționările

**2.1.2 Sursa energetică**

2.1.3 Spațiul de operare

2.1.4 Programul funcțional

2.1.5 Sistemul de conducere

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

2.3.1 Sisteme centralizate de conducere

2.3.2 Sisteme descentralizate de conducere

2.3.3 Sisteme de conducere bazate pe compliantă

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată

2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată

2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor

2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.1 Componentele sistemului robot

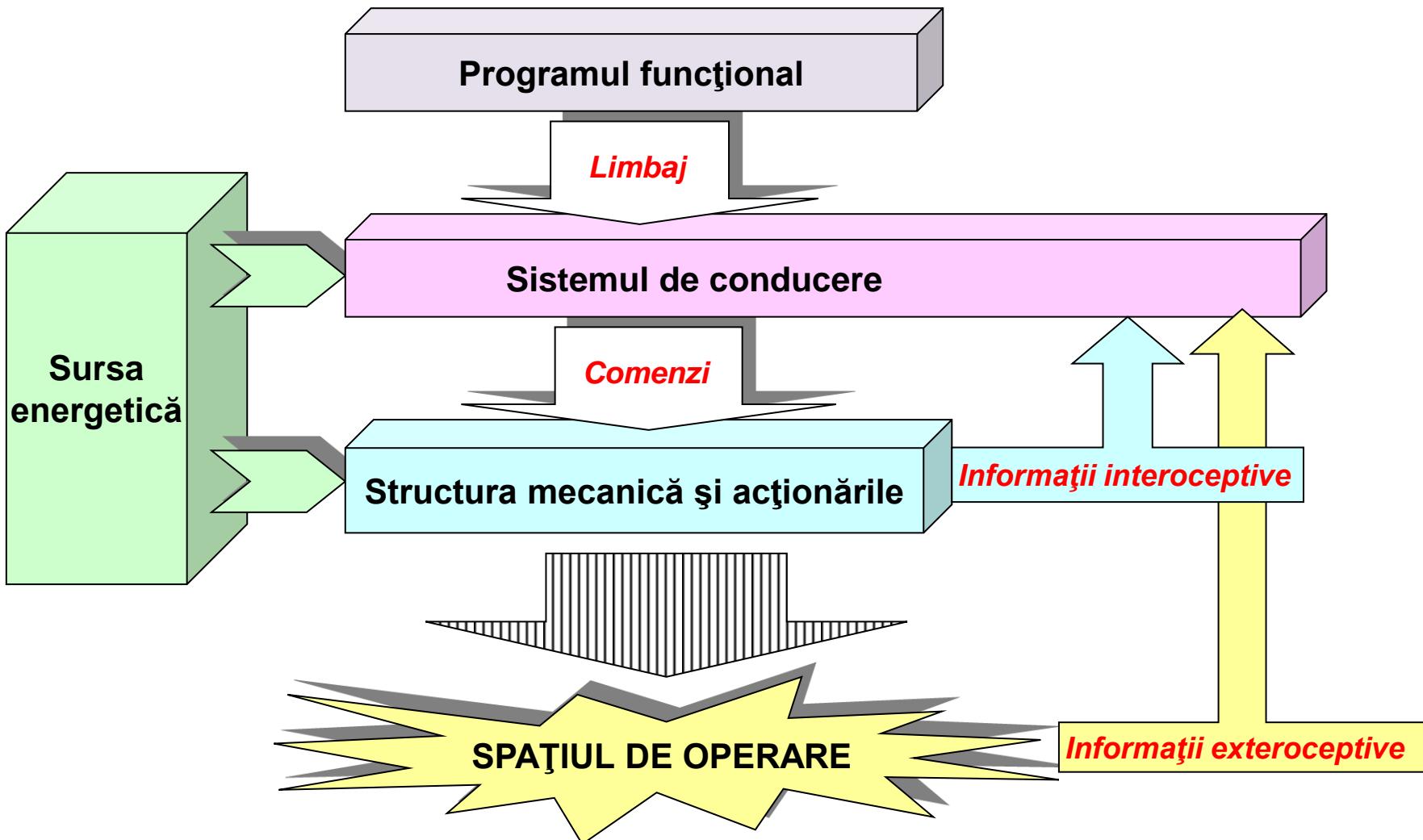


Fig. 2.1 Componentele unui sistem robot..

## 2.1.2 Sursa energetică

---

Acest al doilea bloc din structura sistemului robot **asigură energia necesară funcționării**, în variantele și la parametrii necesari

- **Principial există două tipuri de energie folosită de către roboții industriali:**
  - **Energie electrică**
  - **Energie fluidică**
    - **Pneumatică**
    - **Hidraulică**
- **Sursa energetică a unui robot poate fi:**
  - **Unică** (electrică, pneumatică sau hidraulică)
  - **Combinată:**
    - **Electro – pneumatică**
    - **Electro – hidraulică**
    - **Electro – pneumatică – hidraulică**

## 2.1.2 Sursa energetică

---

- **O sursă electrică este practic întotdeauna prezentă într-un sistem robot industrial.** Ea poate include diferite elemente:
  - Circuite monofazate (sau uneori trifazate)
  - Componente de forță pentru alimentarea acționărilor
  - Componente de joasă tensiune pentru alimentarea sistemului senzorial și al sistemului de conducere
  - Redresoare și stabilizatoare de tensiune
  - Circuite de filtrare a paraziților de natură electrică din rețea etc.

### OBSERVAȚIE:

- **Preferința pentru energia electrică este justificată de:**
  - Omniprezența sa în orice mediu industrial
  - Conversia ușoară a parametrilor specifici tensiune / curent

## 2.1.2 Sursa energetică

---

**Când robotul are și acționări fluidice, atunci sunt necesare suplimentar și surse energetice fluidice:**

- **Dacă robotul are acționări pneumatice:**
  - Este necesară o sursă pneumatică de tip **compresor**, cu circuite pentru menținerea calității aerului comprimat, amplasată în proximitate
  - Prezența unei rețelei uzinale de aer comprimat (în mediile industriale importante) permite conectarea directă a robotului.
- **Dacă robotul are acționări hidraulice:**
  - Este necesară o sursă hidraulică amplasată în proximitatea sa

## 2.1.2 Sursa energetică

---

O problemă mai deosebită apare la roboții mobili, pentru care sursa energetică nu trebuie să intre în conflict cu mobilitatea lor specifică în scena de operare. Soluțiile sunt:

- **Alimentare prin "cordoane ombilicale"**
  - În general, soluția nu este practică
  - Adeseori soluția este imposibilă în mediul industrial
- **Alimentarea cu acumulatori (reîncărcabili)**
  - Soluția limitează drastic mobilitatea robotului
  - În următorul timp se aduc îmbunătățiri substanțiale legate de:
    - Capacitatea de înmagazinare energetică (*energia masică*)
    - Timpul de reîncărcare
    - Soluțiile tehnice de reîncărcare

## 2.1.2 Sursa energetică

Tabelul 2.1 Valori orientative pentru energia masică a diferitelor surse energetice.

Surse energetice tipice	Energia masică eliberată ( $W \cdot h/Kg$ )
➤ Deuteriu (fuziune)	97.000.000.000
➤ Uraniu 235	19.000.000.000
➤ Apă grea (fisiune)	9.700.000.000
➤ Uraniu natural (fisiune)	139.000.000
➤ Plutoniu 238 (fisiune)	500.000
➤ Hidrogen	33.000
➤ Metan	13.900
➤ Benzină	1.220
➤ Cădere de apă de la 100 m	272
➤ Acumulator electric Ag / Zn	121
➤ Acumulator electric Pb / Acid	33
➤ Gaz comprimat	19,7
➤ Resort de torsiune	0,07
➤ Resort elicoidal	0,04
➤ Condensator electric	0,004

# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare**
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sisteme centralizate de conducere
- 2.3.2 Sisteme descentralizate de conducere
- 2.3.3 Sisteme de conducere bazate pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.1 Componentele sistemului robot

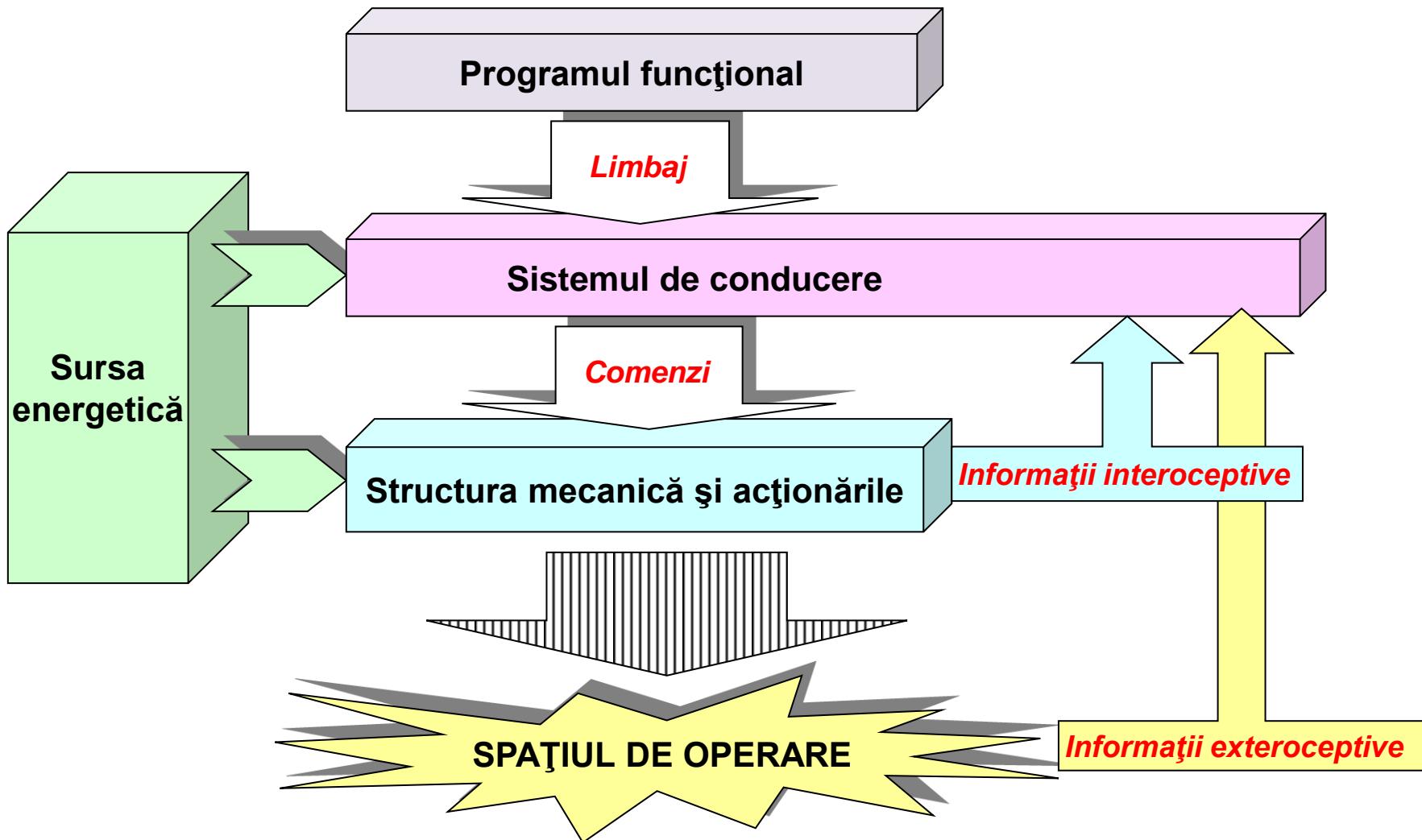
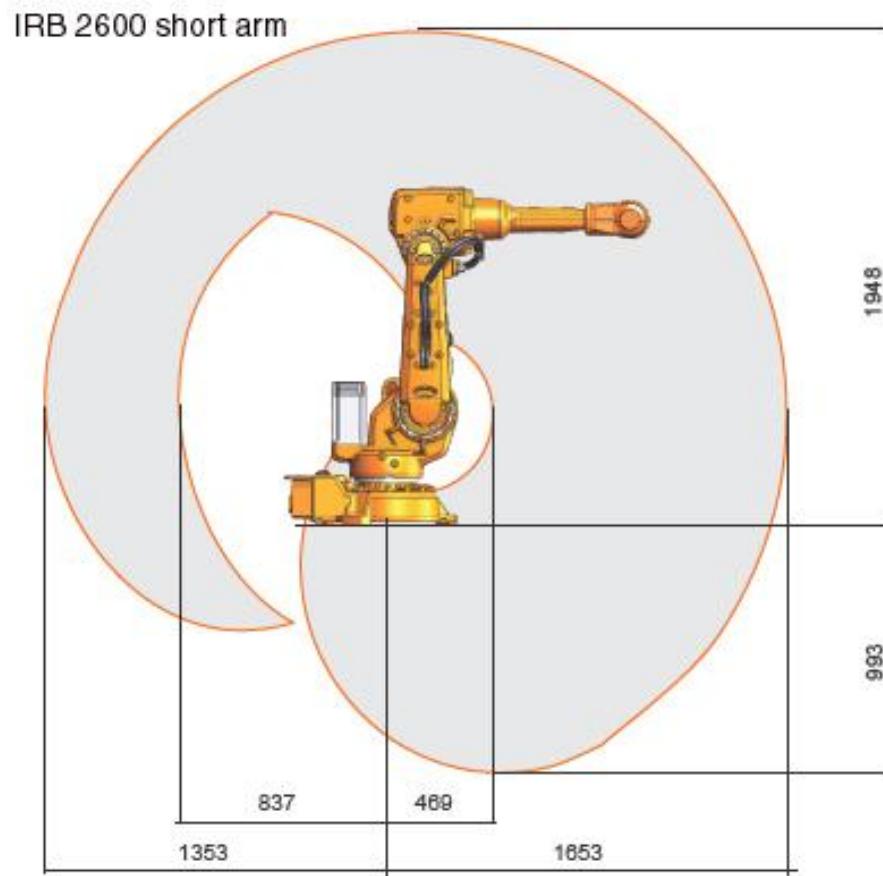


Fig. 2.1 Componentele unui sistem robot..

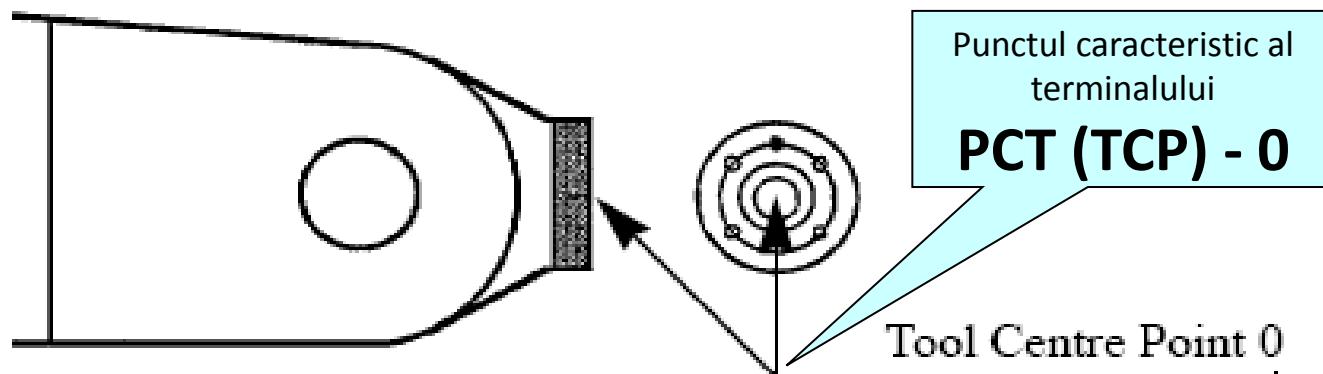
## 2.1.3 Spațiul de operare

**Spațiul de operare** este porțiunea limitată din proximitatea robotului în care acesta își poate plasa **punctul caracteristic al terminalului său PCT (respectiv TCP - Tool Center Point)**

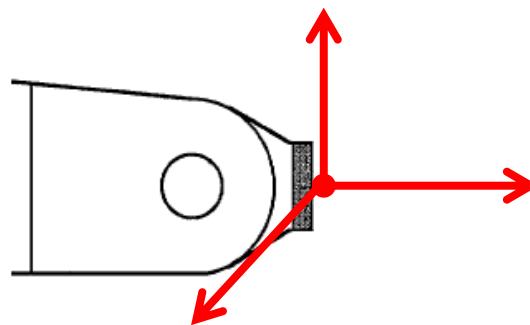


## 2.1.3 Spațiul de operare

Prin construcție, orice robot industrial are amplasat PCT-ul în centrul de simetrie al flanșei port-terminal.

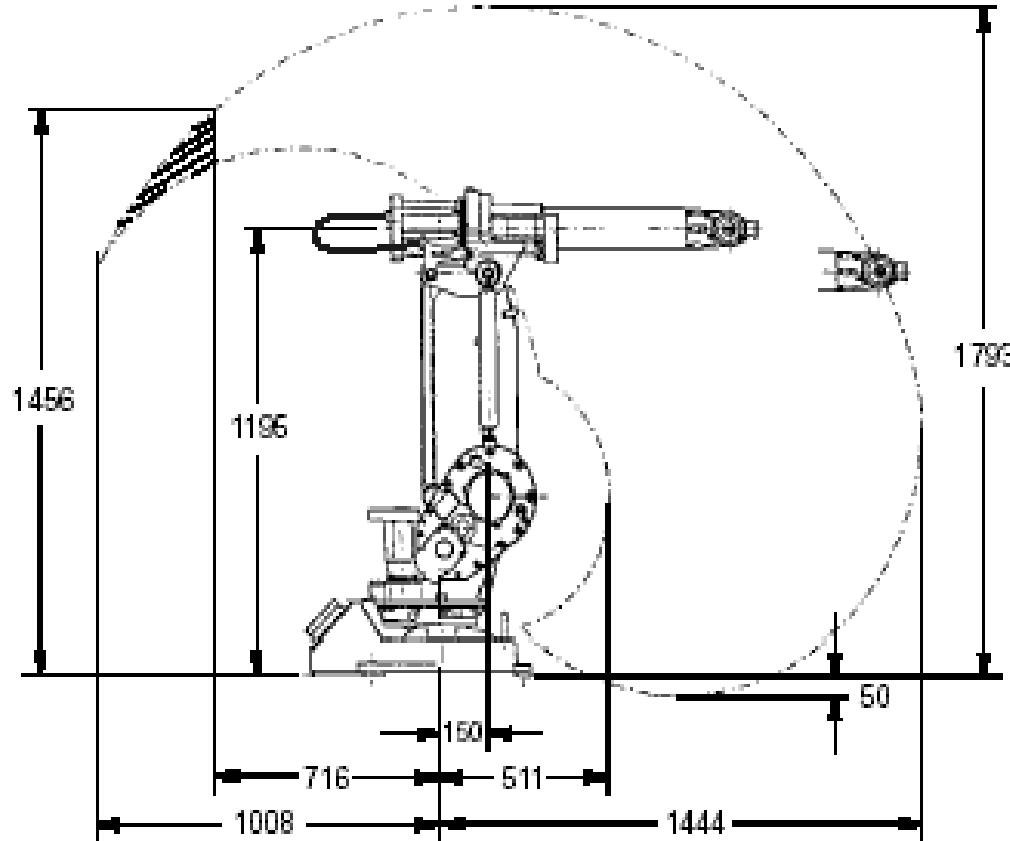


**Fig. 2.7** Punctul PCT (TCP) este centrul de simetrie al flanșei port-terminal.



## 2.1.3 Spațiul de operare

**Forma și dimensiunile spațiului de operare** depind de soluțiile constructive adoptate pentru structura mecanică a robotului.

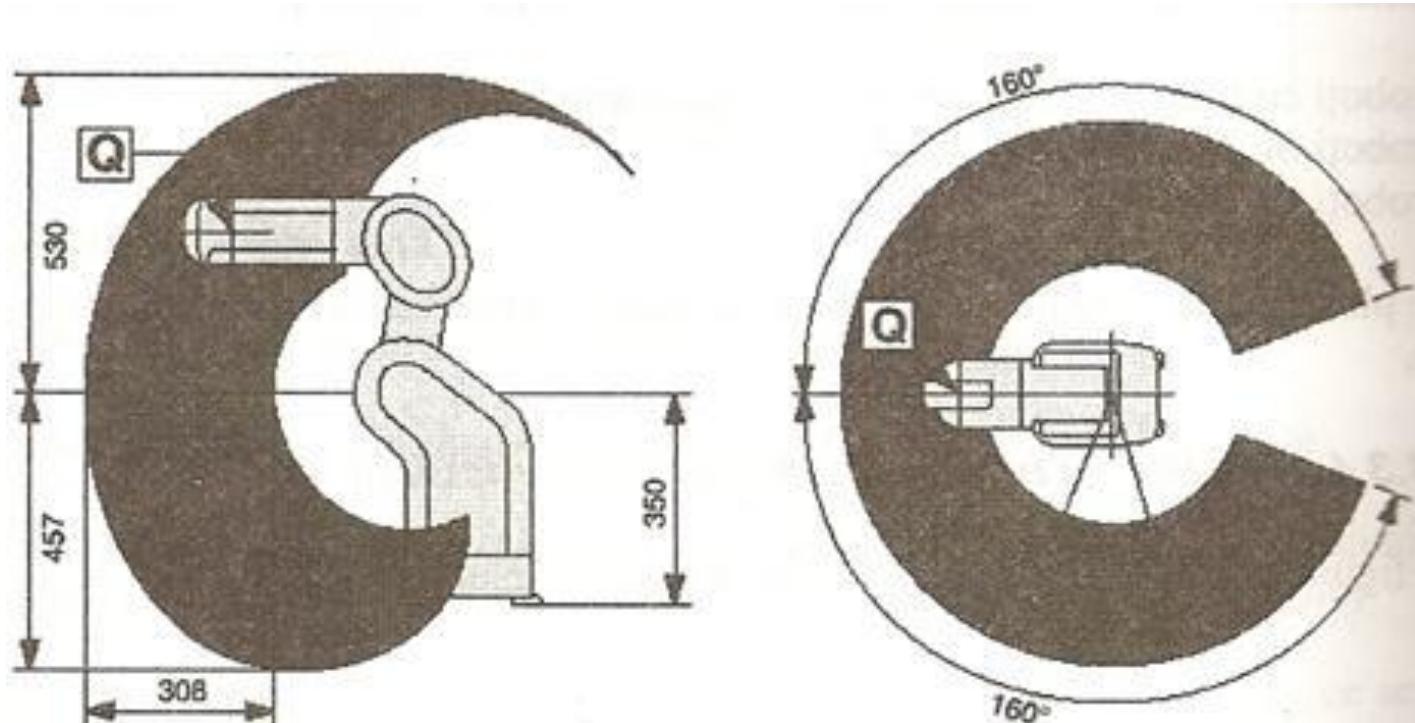


**Fig. 2.8 Dimensiuni ale spațiului de operare pentru robotul ABB IRB 1400**

## 2.1.3 Spațiul de operare

Deoarece spațiul de operare este un volum 3D (cu excepția roboților plani), reprezentarea sa grafică de catalog este dificilă

- **Dimensiunile geometrice maxime** (detalii) sunt foarte importante
- Uzual se face o reprezentare grafică 2D prin două secțiuni (verticală și orizontală)



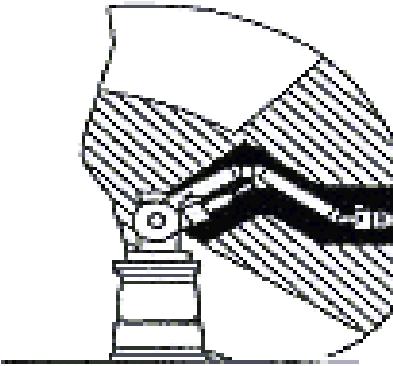
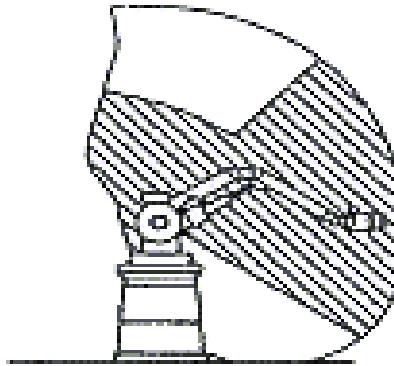
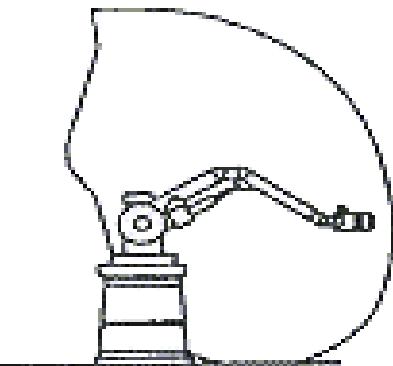
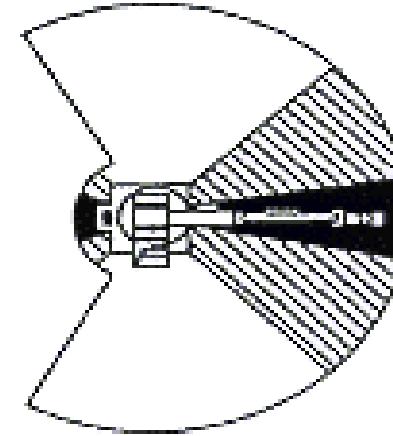
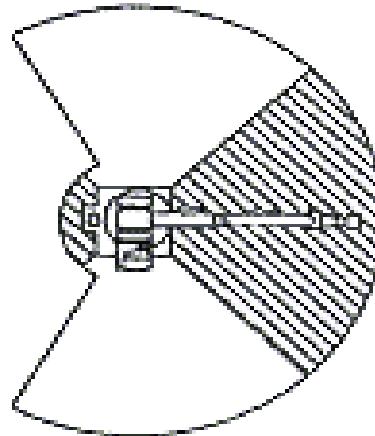
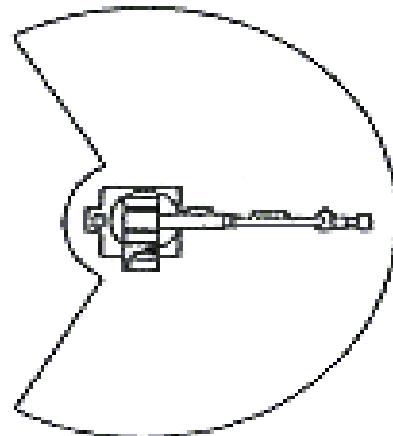
## 2.1.3 Spațiul de operare

În funcționare, spațiul de operare poate fi restricționat suplimentar

Maximum Envelope

Restricted Envelope

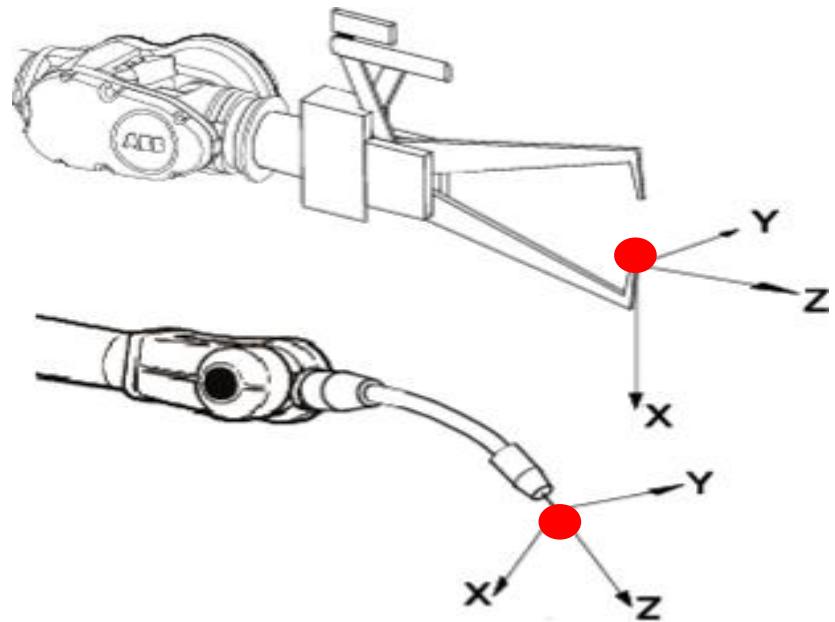
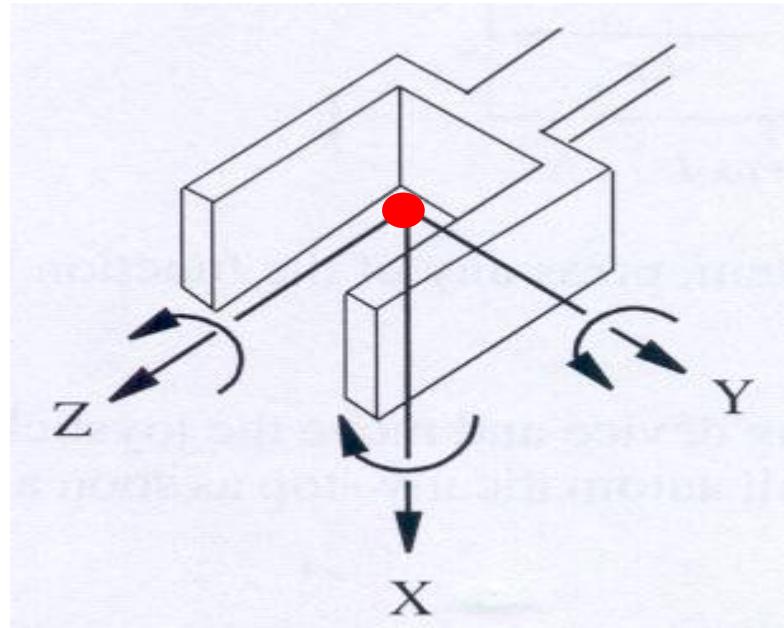
Operating Envelope



## 2.1.3 Spațiul de operare

Funcție de tipul terminalului atașat la flanșa post-terminal (deci funcție de aplicație), **PCT-ul va fi “translatat”** de exemplu:

- În centrul de simetrie al unui gripper
- În centrul de simetrie al unui clește de sudură prin puncte
- În vârful electrodului unui pistol de sudură
- În centrul duzei unui pistol de vopsire
- În vârful sculei aşchietoare la o aplicație de prelucrare mecanică etc.



## 2.1.3 Spațiul de operare

---

### **OBSERVAȚII:**

Am văzut că datele de catalog folosesc pentru indicarea spațiului de operare centrul de simetrie al flanșei port - terminal, ca ultim element din structura de bază a robotului

- Rezultă deci faptul că, **pentru o anumită aplicație, funcție de terminalul folosit, aceste valori caracteristice ale spațiului de operare "se majorează" cu distanța dintre acest punct și PCT-ul definit pentru terminal**

Pentru a realiza o anumită aplicație, toate traectoriile dorite precum și obiectele cu care interacționează robotul trebuie plasate în interiorul spațiului său de operare.

- Așadar, **spațiul de operare al fiecărui robot este asociat cu o serie de restricții geometrice fundamentale**, care trebuie analizate cu prioritate pentru a realiza orice aplicație

## 2.1.3 Spațiul de operare

---

În timpul unei aplicații, **sistemul de conducere al unui robot poate avea nevoie de anumite informații referitoare la modificările apărute în spațiul său de operare:**

- Pentru a-și continua funcționarea
- Pentru a-și adapta funcționarea ca răspuns la modificările neprevăzute care au intervenit

**Sistemul senzorial din spațiul de operare al robotului** furnizează sistemului de conducere informații despre "lumea externă a robotului", motiv pentru care ele sunt numite **informații exteroceptive** (Fig. 2.1)

## 2.1 Componentele sistemului robot

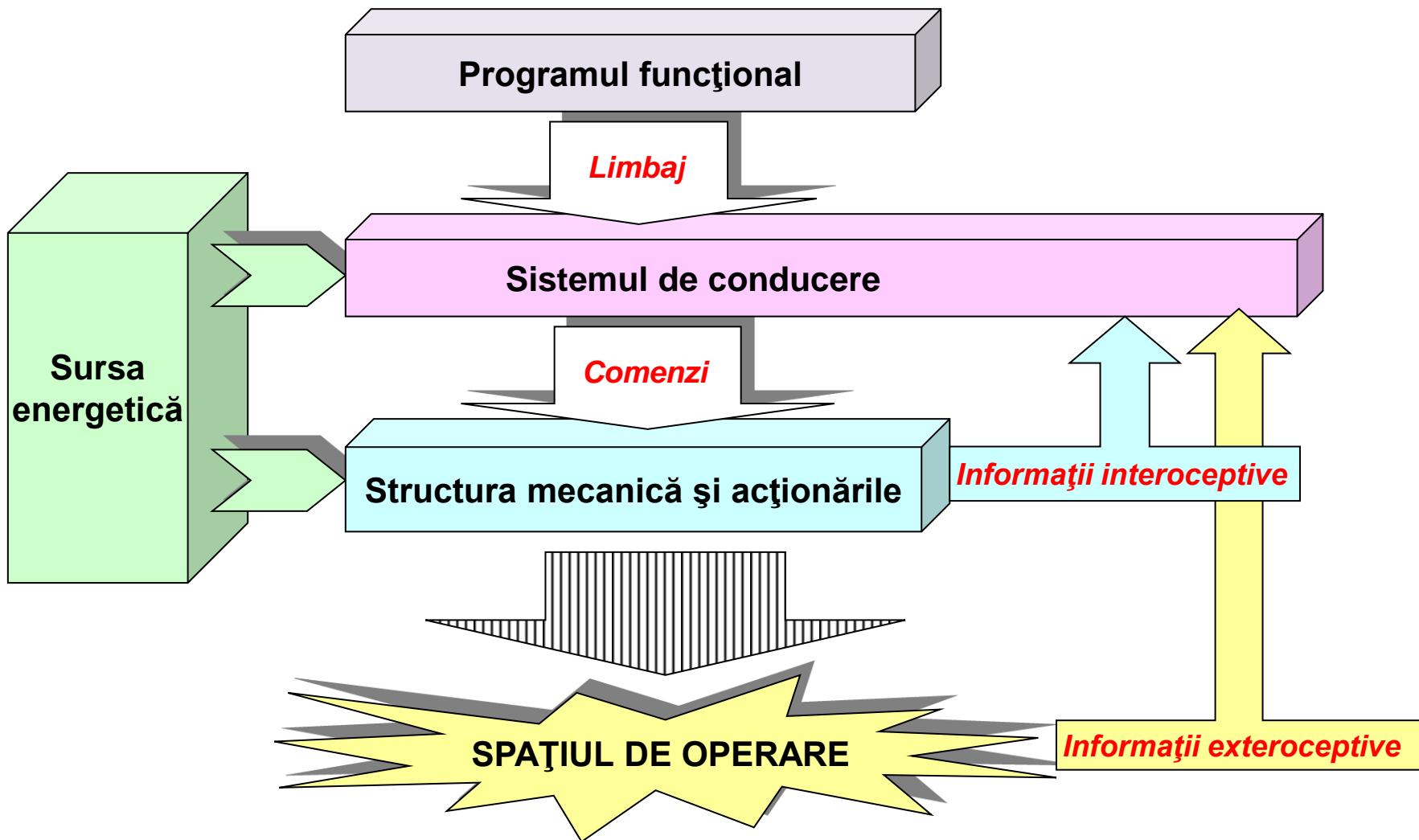


Fig. 2.1 Componentele unui sistem robot..

## 2.1.3 Spațiul de operare

---

### **OBSERVAȚII:**

- Roboții industriali obișnuiți iau în considerație **în mică măsură** modificările apărute în spațiul lor de operare
- Cel mai adesea **informațiile exteroceptive sunt de tipul "tot sau nimic"**, furnizate de limitatori, senzori de proximitate sau semnale binare de la alte echipamente cu care robotul cooperează
- **Numai roboții evoluati sunt capabili să-și decidă propria funcționare și să o adapteze la schimbările neprevăzute apărute în spațiul de operare**, pentru aceasta fiind necesare informații exteroceptive ample, furnizate de **senzori evoluati** de tip vedere artificială, piele artificială, iluminare, temperatură etc.

# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### **2.1 Componentele sistemului robot**

2.1.1 Structura mecanică și acționările

2.1.2 Sursa energetică

2.1.3 Spațiul de operare

**2.1.4 Programul funcțional**

2.1.5 Sistemul de conducere

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

2.3.1 Sisteme centralizate de conducere

2.3.2 Sisteme descentralizate de conducere

2.3.3 Sisteme de conducere bazate pe compliantă

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată

2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată

2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor

2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.1 Componentele sistemului robot

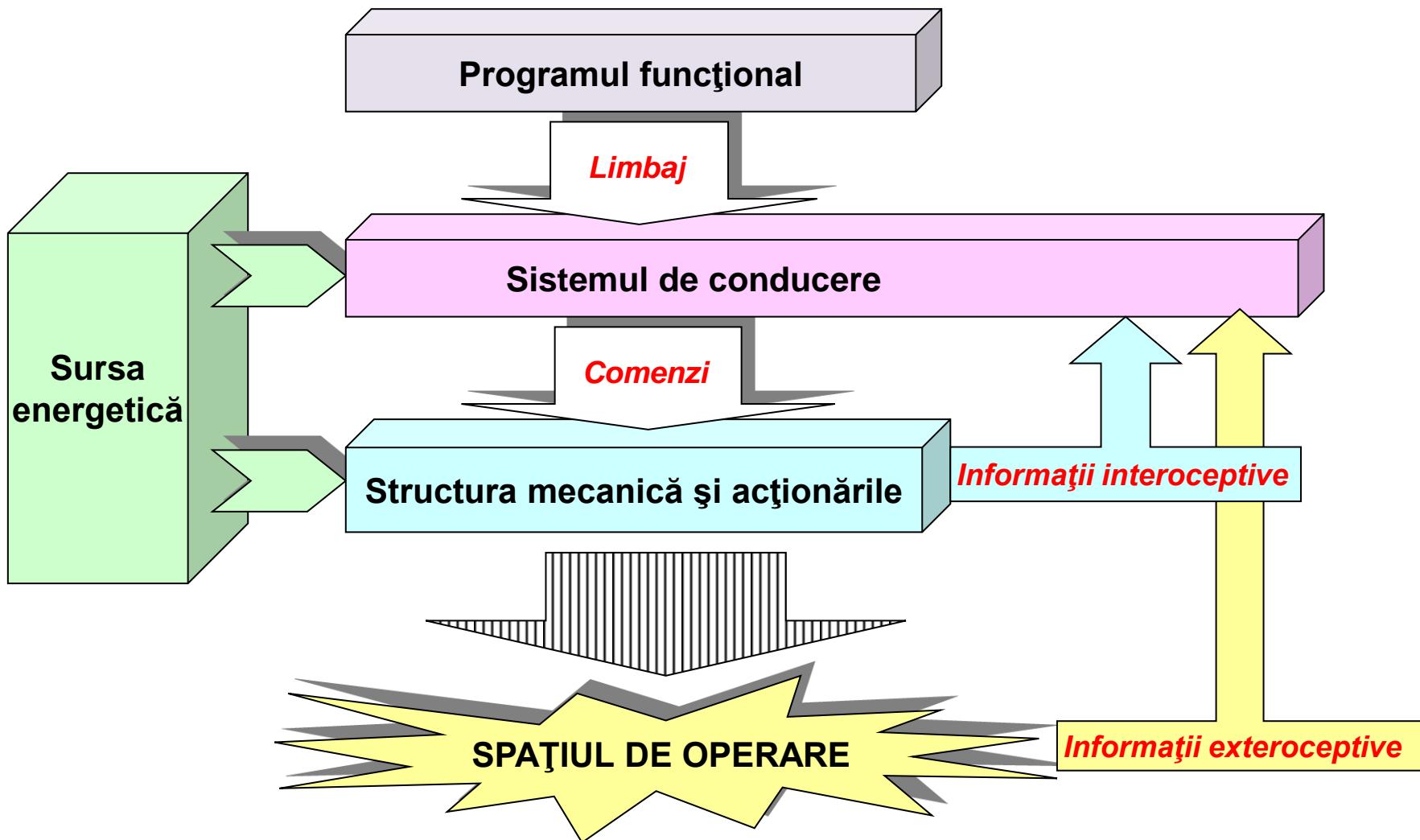


Fig. 2.1 Componentele unui sistem robot..

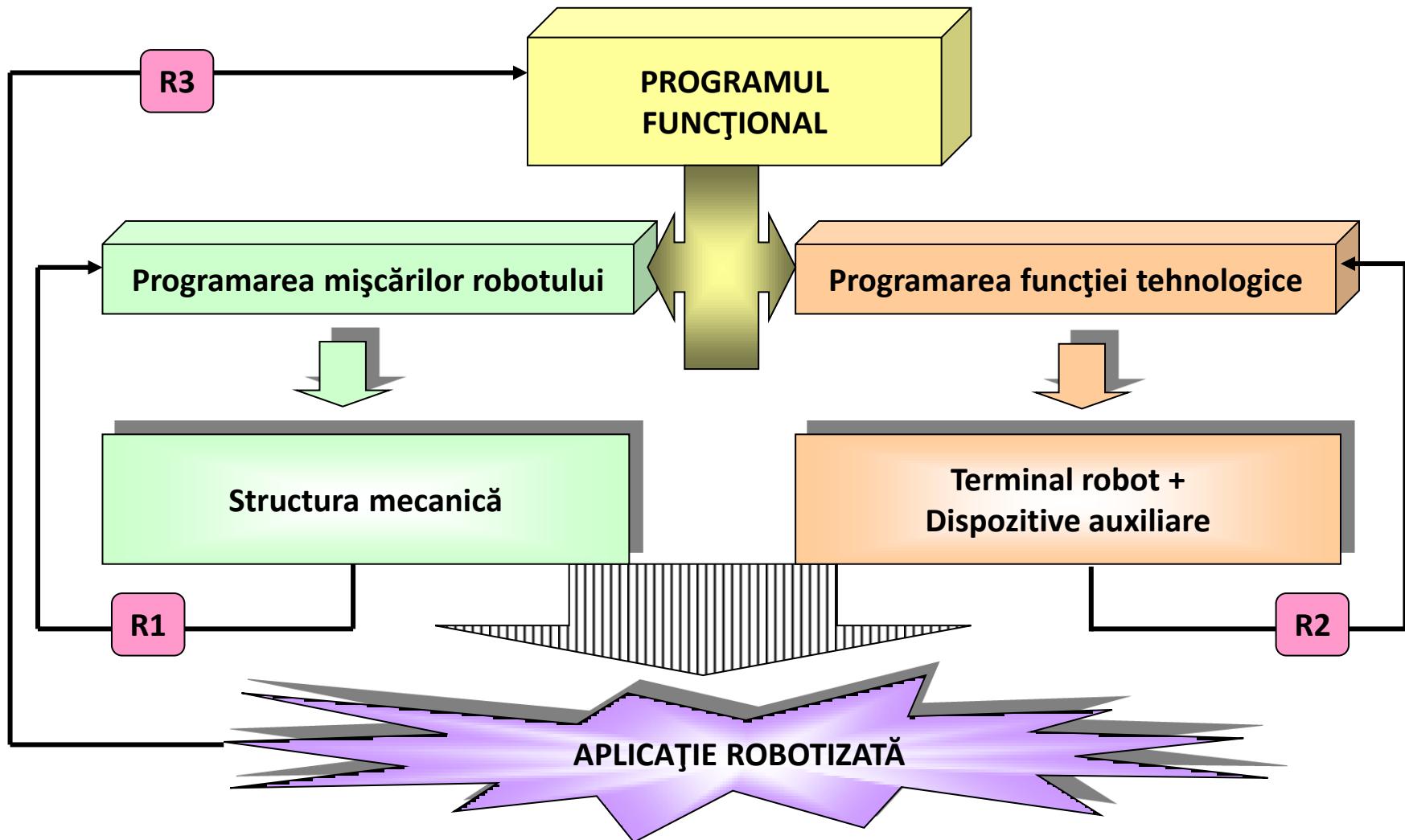
## 2.1.4 Programul funcțional

---

### Programul funcțional:

- Este realizat de către un **operator** care folosește un **limbaj de programare**, respectiv un **set de instrucțiuni predefinite**, proces cunoscut sub denumirea de **programarea robotului**.
- Asigură integrarea robotului în aplicația curentă, generând (Fig. 2.9):
  - **Mișcările dorite pentru fiecare articulație**
  - **Exercitarea funcției tehnologice prin terminalul robot**
- Folosește informațiile interoceptive și exteroreceptive furnizate de către sistemele senzoriale disponibile.
- Din punct de vedere structural pot fi:
  - Programe robot cu **lungime fixă**
  - Programe robot cu **lungime variabilă**

## 2.1.4 Programul funcțional



**Fig. 2.9** Componențele programului funcțional al unui robot.

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### 1. Program robot cu lungime fixă

- O succesiune de **instrucțiuni derulate rigid, secvențial și ciclic**
  - Execuția instrucțiunii curente se finalizează prin trecerea la următoarea instrucțiune
- **Ține cont în mică măsură de prezența reacțiilor senzoriale**, care se rezumă cel mai adesea la atingerea unor limitatori care marchează capetele de cursă
- **Este materializat hard** (mai rar soft)
- Comenzile sunt generate frecvent de către un **secvențiator cablat**, special proiectat pentru **funcționarea dorită** și realizat în diverse tehnologii (releistice sau electronice).
  - **Modificarea funcționării inițiale necesită intervenții majore asupra secvențiatorului**, care trebuie reproiectat și reconstruit.

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### 1. Program robot cu lungime fixă (continuare)

- În cazul utilizării unui secvențiator mai performant (**PLC-Programmable Logic Controller, AP-Automat Programabil**), intervenții ulterioare asupra programului funcțional se pot realiza mai ușor
- **Este utilizat numai de structurile robotice foarte simple** (cu număr redus de articulații, care genereză numai câteva poziții stabile și predefinite în spațiul de operare, de exemplu numai capetele de cursă ale unor articulații de tip cilindru cu piston)
  - **Exemplu:** Robot cu 2-3 articulații pneumatice, cu limitatori de capăt de cursă, în aplicație “**pick and place**”

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### 2. Program robot cu lungime variabilă

- **Conține mai multe task-uri (subprograme)**
- Funcție de starea curentă a reacțiilor  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  (Fig. 2.9), sunt activate numai task-urile necesare realizării aplicației aflate în execuție.
- **Caracterul "variabil" al lungimii programului:** în fiecare ciclu de baleiere al programului principal numai anumite task-uri și instrucțiuni sunt activate, iar altele sunt "sărite".
- **Sunt materializate numai soft**, fiind specifice sistemelor robotice performante.

## 2.1.4 Programul funcțional

---

**Complexitatea programelor robot** este în strânsă legătură cu capacitatea sistemului de conducere al robotului de a recunoaște și de a executa instrucțiuni dintre cele mai diverse

Există **două cazuri extreme (limită)**:

➤ **Programarea analitică (la nivel explicit)**

- Robotul are un sistem de conducere mai puțin evoluat
- **Sunt necesare eforturi mai mari în procesul de programare** (toate acțiunile robotului trebuie descrise amănunțit, pas cu pas, trebuie precizați parametrii funcțiilor care descriu diversele traекторii în sisteme de coordonate adecvate, sunt necesare modele cinematice și dinamice ale robotului etc.)

➤ **Programarea prin limbaje de nivel superior (prin definirea obiectivelor).**

- **Efortul operatorului pentru programarea robotului scade considerabil.**
- **Sarcinile sunt transferate către un sistem de conducere mult mai evoluat,** capabil să execute instrucțiuni generice de tipul "*asamblează obiectul A în obiectul B*", cu toate implicațiile pentru:
  - definirea obiectelor
  - identificarea și localizarea lor
  - definirea strategiilor posibile de execuție
  - identificarea soluției optime
  - elaborarea comenziilor adecvate pentru fiecare articulație robot în vederea realizării deplasării și ulterior asamblării obiectului A etc.

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### **OBSERVAȚII:**

- **Programarea analitică** este laborioasă și necesită un programator cu cunoștiințe avansate
- **Programarea prin definirea obiectivelor** este un deziderat costisitor (tehnici off-line și simulări grafice virtuale pentru verificarea soluțiilor în absența fizică a robotului sunt indicate)
- **Programarea prin instruire** (o cale de mijloc) este în prezent cea mai folosită pentru programarea roboților industriali
  - ✓ **Ideea fundamentală a metodei:** utilizarea directă a robotului și a experienței operatorului în realizarea aplicației

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### Programarea prin instruire - Caracteristici

- Poate fi realizată de către un operator cu pregătire obișnuită și necesită prezența robotului, ea fiind (principial) **o tehnică de programare on-line**.
  - Cunoștiințele de programator ale operatorului sunt minime, ușor de asimilat chiar de către persoane care nu au deloc experiență în domeniu
  - Se elimină inconveniente majore de programare:
    - Construirea de către operator a modelelor cinematice și dinamice ale robotului
    - Corectitudinea acestora
    - Implementarea tuturor acestor modele într-un program robot

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### Programarea prin instruire - Caracteristici

- Pentru a nu imobiliza robotul pentru instruirea sa, **programarea prin instruire poate fi transformată într-o tehnică de programare off-line**
  - Unii producători oferă și **modele fizice simplificate pentru instruire** (realizate “la scară” și mai ieftine)
  - **Poate fi economică achiziționarea unui robot real suplimentar** (dacă se utilizează mai mulți roboți de aceelași tip). El va fi utilizat pentru:
    - Elaborarea off-line a programelor necesare dezvoltării aplicațiilor pentru toți ceilalți roboți
    - Rezervă tehnologică pentru înlocuirea temporară a oricărui robot defect, cu benefice influențe financiare globale
  - **Robotica virtuală** asigură în prezent soluții mult mai eficiente pe cale software, parcurgând etapele:
    - a. Simulare off-line pe un PC
    - b. Transferul programului în memoria robotului (card de memorie, Intranet uzinal, Internet etc.)
    - c. Recalibrarea robotului

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### Programarea prin instruire - Caracteristici

**Programarea prin instruire a unui robot cuprinde două faze successive:**

**FAZA 1: Instruirea robotului**

**FAZA 2: Execuția programului**

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### FAZA 1 a programării prin instruire: Instruirea robotului

- Se face în prezența operatorului, care detine controlul direct al tuturor acțiunărilor robotului cu ajutorul unui terminal de programare specializat, numit **consolă de instruire** (sau **consolă de programare**).
- **Soluții pentru construcția consolelor de instruire:**
  - Numai cu taste (butoane)
  - Cu taste și joystick
  - Instruirea directă de la mâna operatorului uman

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### Consola de programare

- **Este un terminal de introducere a datelor**, legat la sistemul de conducere al robotului prn cablu ( $x1m - x15m$ ), prin care operatorul poate comanda independent fiecare articulație a robotului:
  - Pornit / Oprit
  - Sens de deplasare
  - Mărimea deplasării
  - Caracteristicile deplasării (viteză, acceleratie etc.)
- **Deplasarea unei articulații poate fi modificată repetat de către operator** până la obținerea poziției dorite a PCT, fiind memorată numai în condițiile acceptării și confirmării de la consolă printr-o tastă de tip ENTER
- **Pentru deplasarea fiecărei articulații a robotului este alocat:**
  - **Un grup de taste** (pentru consolele care au numai taste, la sistemele robot mai simple)
  - **O axă de mișcare a joystick-ului** (pentru consolele sistemelor robot mai complexe, care au taste și joystick)

## 2.1.4 Programul funcțional

Consola de programare numai cu taste - imagine



## 2.1.4 Programul funcțional

### Consola de programare numai cu taste (ESHED) - detalii

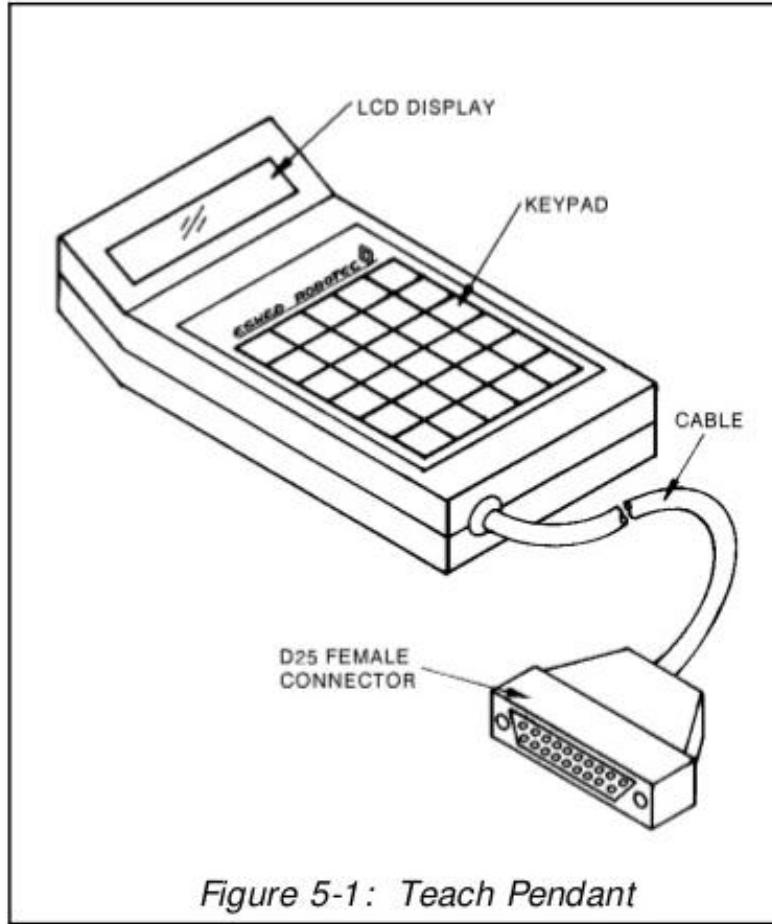


Figure 5-1: Teach Pendant

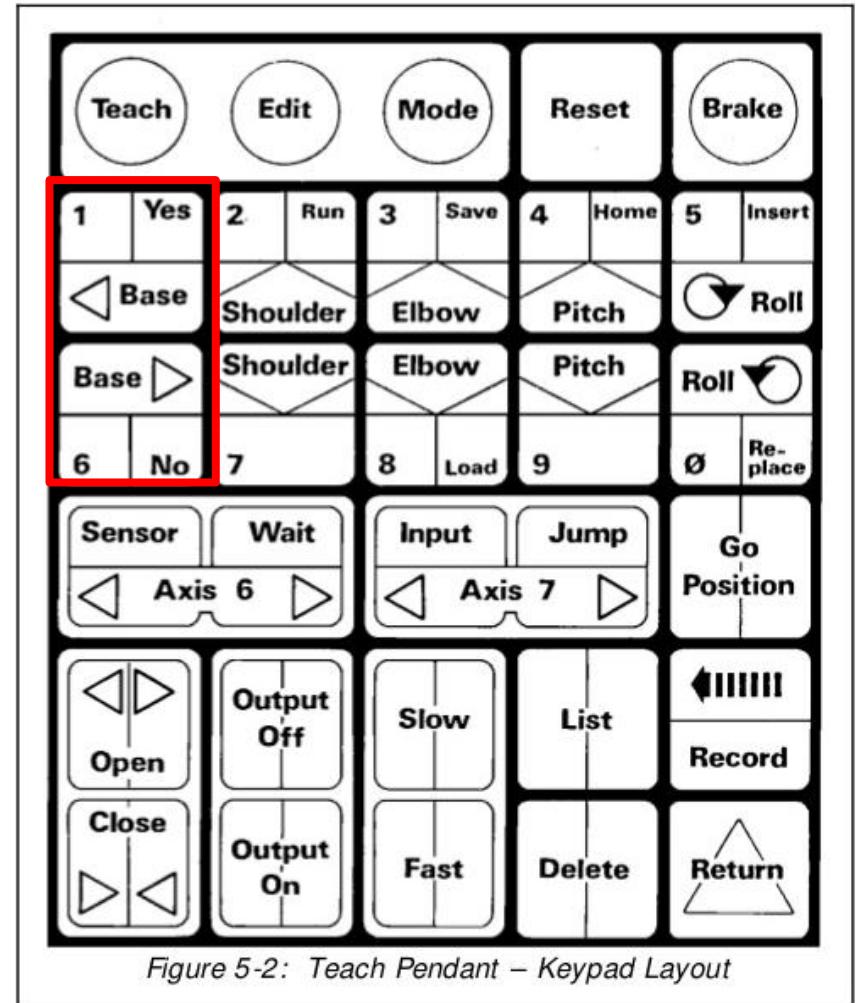


Figure 5-2: Teach Pendant – Keypad Layout

## 2.1.4 Programul funcțional

Consola de programare cu taste și joystick (ABB) – imagine



## 2.1.4 Programul funcțional

### Consola de programare cu taste și joystick (ABB) - detalii



## 2.1.4 Programul funcțional

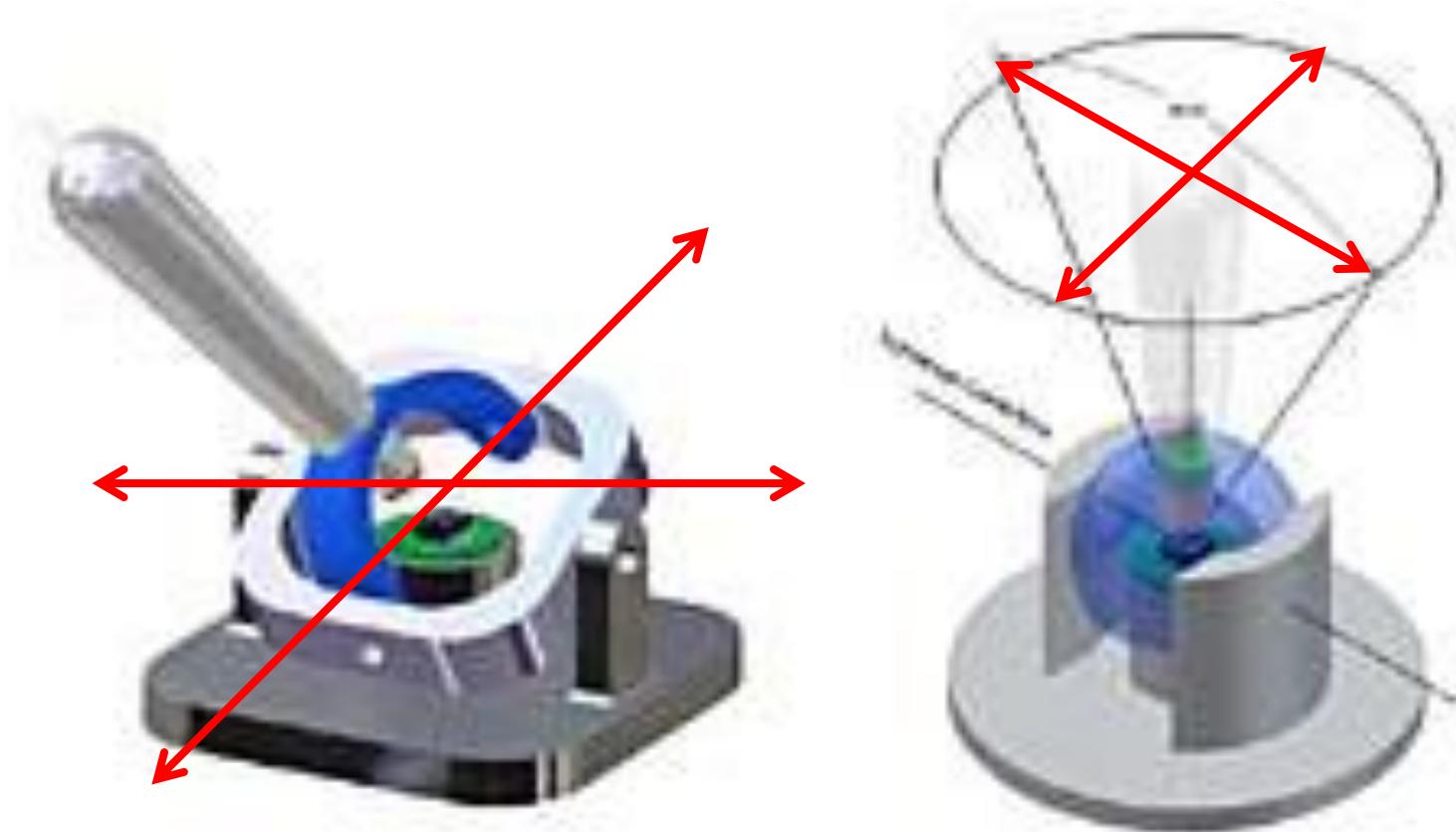
### Funcționarea unui joystick

- Consola de programare dotată cu joystick poate avea:
  - **Joystick cu 2 axe** (poate deplasa la un moment dat maxim 2 articulații ale robotului)
  - **Joystick cu 3 axe** (poate deplasa la un moment dat maxim 3 articulații ale robotului)
- **Alocarea articulațiilor robotului pe axele joystick-ului este predefinită** de către fabricant
- Pentru a comuta alocarea joystick-ului de la un grup de articulații (2 sau 3) la alt grup de articulații (2 sau 3) se utilizează taste speciale ale consolei
- Joystick-ul cu trei axe este avantajos pentru roboții cu 6 articulații (**full-axis robot**)



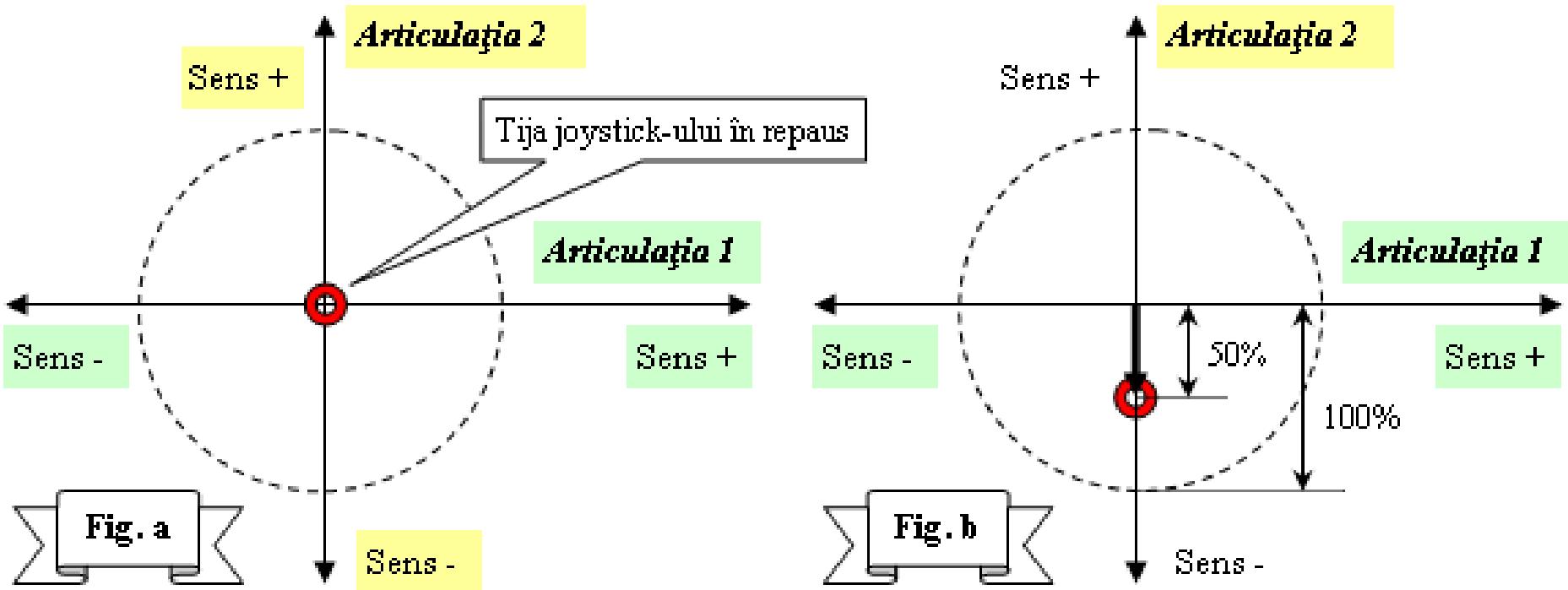
## 2.1.4 Programul funcțional

### Funcționarea unui joystick cu 2 axe



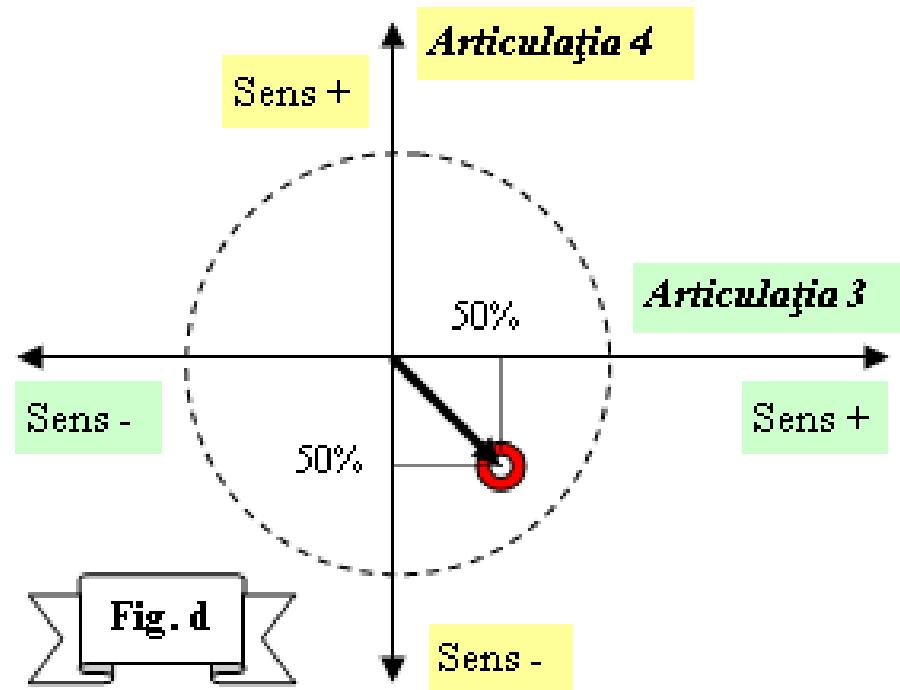
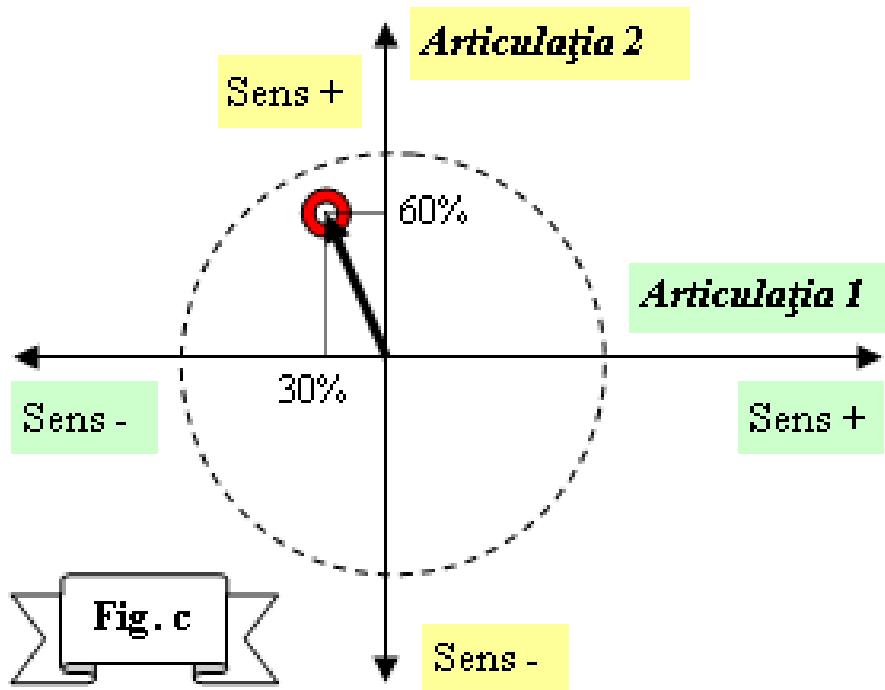
## 2.1.4 Programul funcțional

### Principiul de funcționare al unui joystick cu 2 axe



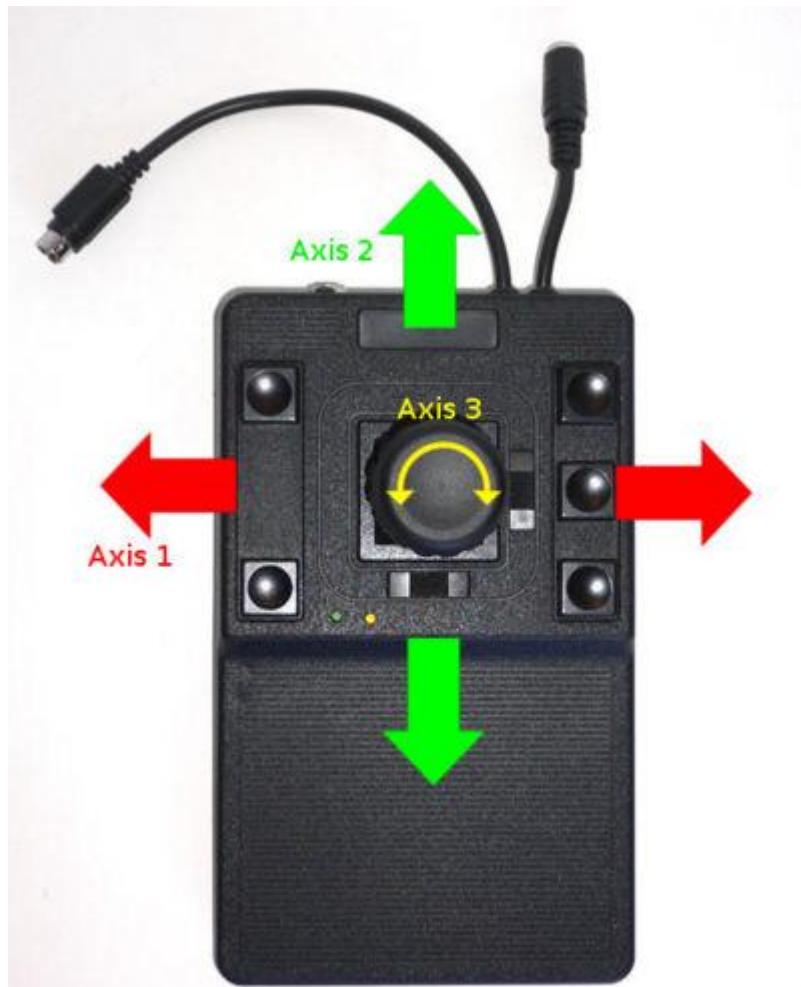
## 2.1.4 Programul funcțional

### Principiul de funcționare al unui joystick cu 2 axe (continuare)



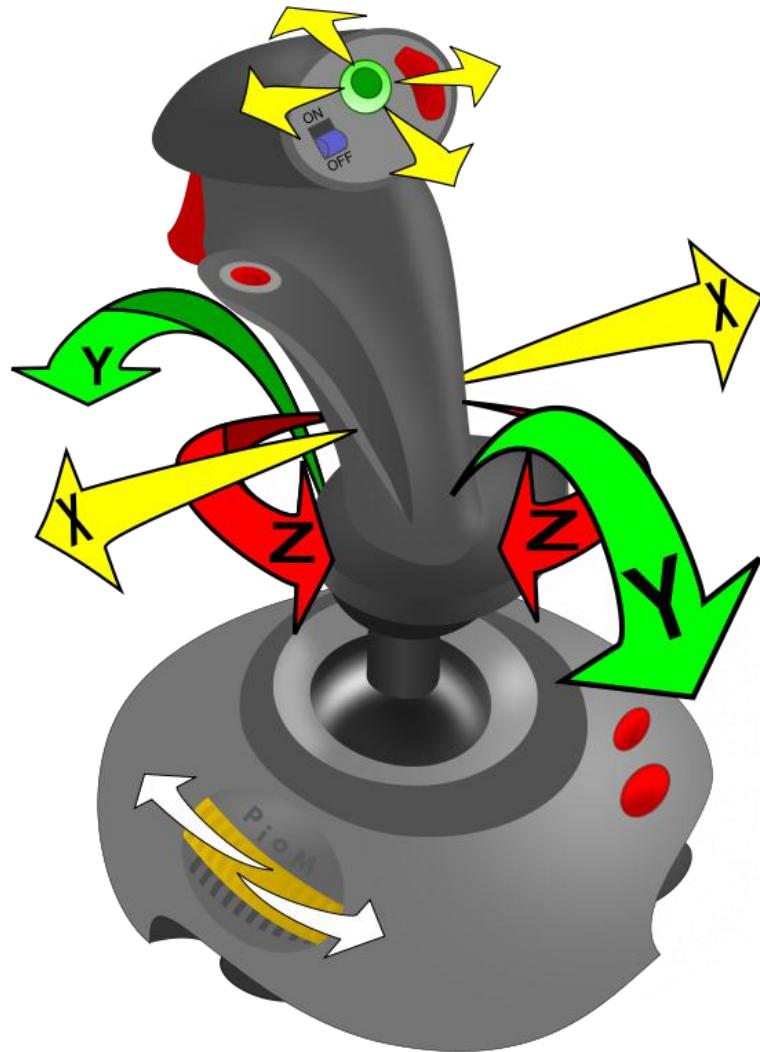
## 2.1.4 Programul funcțional

### Funcționarea unui joystick cu 3 axe



## 2.1.4 Programul funcțional

Funcționarea unui joystick cu 3 axe (continuare)



## 2.1.4 Programul funcțional

---

O consolă de programare prin instruire oferă și alte facilități unui operator:

- **Activarea unor programe din softul de bază** (ex. programul care aduce brațul robotului în poziția unică de referință - *inițializarea structurii mecanice*)
- **Validarea mișcării articulațiilor** (comutatoare cu 3 poziții pentru prevenirea mișcărilor nedorite)
- **Deplasarea terminalului robot pe axele unui sistem cartezian** prin interpolarea mișcărilor generate în mai multe articulații
- **Oprirea de urgență a robotului** (cu blocarea tuturor acționărilor)
- **Selectarea regimului de funcționare** (de exemplu *instruire / execuție cu viteză redusă / execuție cu viteză maximă*)
- **Generarea unor mesaje optice și acustice** referitoare la starea funcțională a robotului sau a regimurilor de funcționare
- **Comanda terminalului**
- **Facilități specifice editării programelor** prin care se poate interveni direct asupra parametrilor unor instrucțiuni
- **Alocarea unor taste generale pentru funcții speciale sau acțiuni rapide**
- **Selecția lingvistică** etc.

## 2.1.4 Programul funcțional

### Consola de programare cu taste și joystick (ABB IRB 1400)

- Pe durata procesului de instruire, consola de instruire este ținută permanent în mână de către operator, acesta putând observa foarte de aproape comportarea robotului și implicit efectul acțiunii tastelor sau joystick-ului.

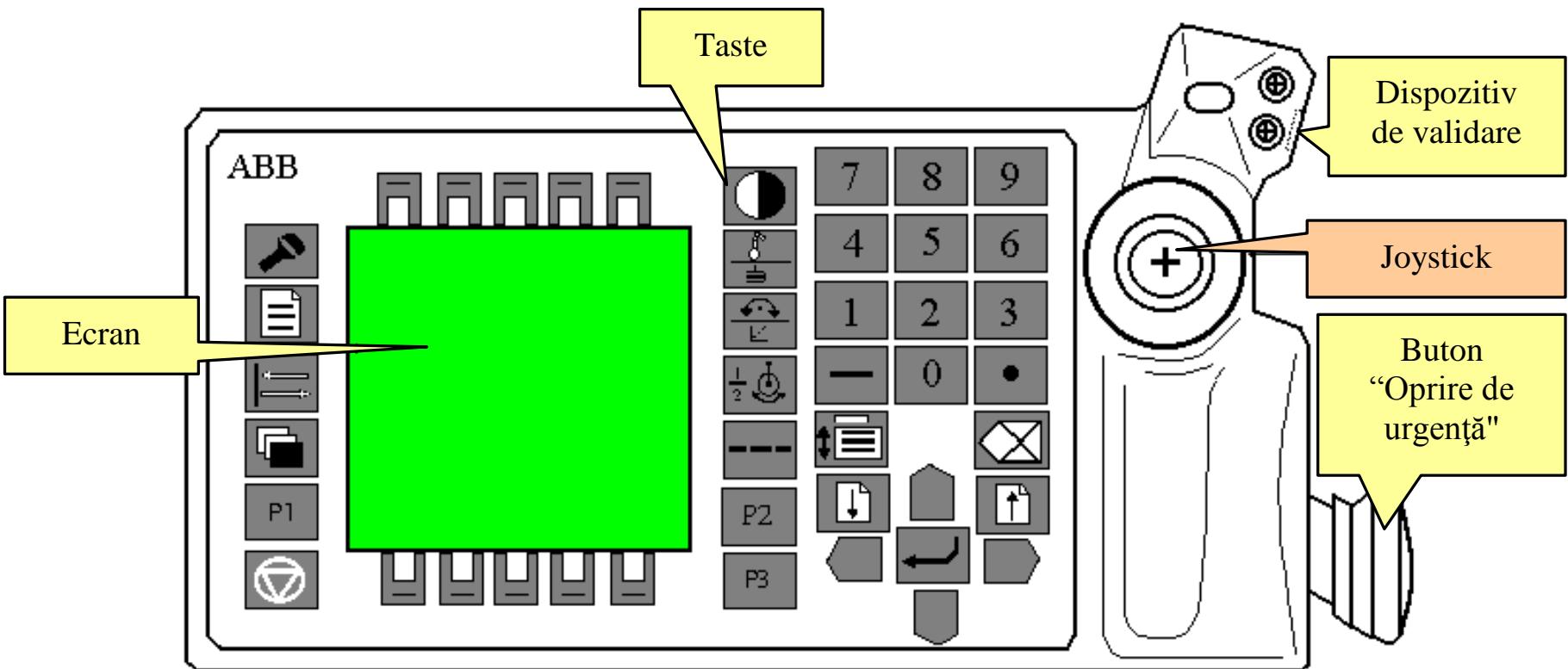


Figura 2.11 Vedere frontală a consolei de programare.

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### Faza de instruire a unui robot se încheie cu obținerea unui program memorat în sistemul de conducere al robotului

- Programul este constituit dintr-o succesiune de instrucțiuni de mișcare ale căror argumente sunt valorile memorate în timpul procesului de instruire.
- Programul obținut poate fi apoi ajustat (prin editare) după necesități.  
Spre exemplu:
  - ✓ Pozițiile robot memorate pot fi folosite ca **poziții indexate** fiind apelate de mai multe ori în cadrul unui program
  - ✓ Se poate modifica viteza de execuție a robotului pe anumite secvențe din program
  - ✓ Pot fi introduse: ciclări, temporizări, subroutines apelate funcție de starea unor variabile binare interne de tip flag sau externe provenite de la sistemul senzorial exteroceptiv, instrucțiuni pentru operarea cu porturile de intrări / ieșiri (citirea unor intrări / activarea unor ieșiri robot care asigură dialogul cu alte echipamente care cooperează cu robotul în realizarea aplicației)
  - ✓ Se pot introduce linii de comentariu în program
  - ✓ Pot fi activate dispozitive de avertizare (optice sau sonore) etc.

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### FAZA 2 a programării prin instruire: Execuția programului

După încheierea fazei de instruire (și eventual editarea programului), urmează **faza de execuție**

- Principal, orice sistem robot permite execuția unui program:
  - În regim "pas cu pas"
  - În regim "ciclă"
    - Cu limitare de viteză (viteză minimă)
    - Cu viteza introdusă în program (viteză maximă)
- **Regimul pas cu pas** este folosit întotdeauna la testarea unui nou program
  - În acest regim robotul execută o singură instrucțiune din program, după care așteaptă comanda operatorului de la consolă pentru a executa următoarea instrucțiune din program
  - Se vor constata cu certitudine anumite deficiențe care trebuie corectate folosind o parte din facilitățile de editare existente pe consola de programare

## 2.1.4 Programul funcțional

### FAZA 2 a programării prin instruire: Execuția programului

- Reluarea repetată a regimului pas cu pas conduce la înlăturarea tuturor deficiențelor depistate, iar apoi se poate trece la pasul următor, respectiv **regimul ciclu**.

#### OBSERVATII:

- **Regimul pas cu pas permite verificarea tuturor instrucțiunilor și corijarea anumitor deficiențe "stative" ale programului** (în privința unor poziții robot, sunt simulate și verificate pe rând toate condițiile care conduc la ramnificarea programului robot și la apelarea tuturor subruteinilor, sunt citite, activate și verificate după caz semnalele logice din porturile de intrare / ieșire ale robotului, etc.)
- **Regimul ciclu reflectă funcționarea dinamică reală a robotului.**
  - Întrucât și în această fază pot fi depistate probleme nedorite, este indicat ca **regimul să fie parcurs inițial cu o viteză de execuție minimă prescrisă pentru robot**.
  - Pe măsura înlăturării problemelor apărute **viteza robotului poate fi crescută treptat până la valoarea maximă solicitată în aplicația dezvoltată**.

## 2.1.4 Programul funcțional

---

**Filmul Germania**

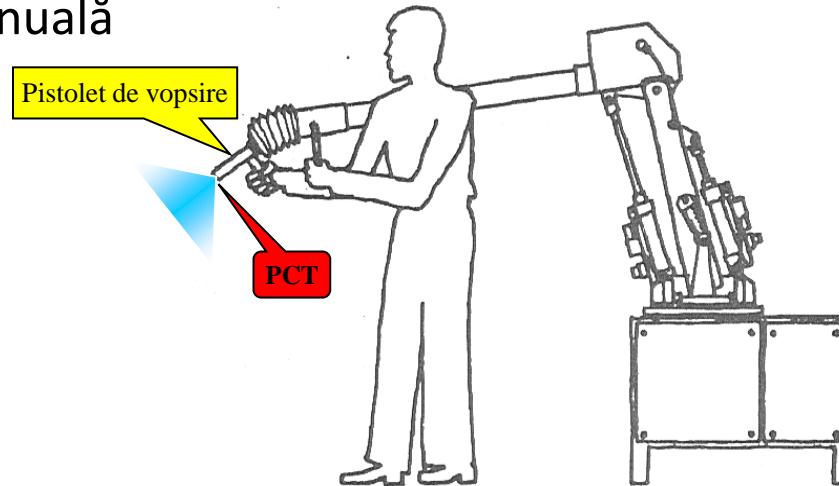
**Min. 15,00-25,35**

## 2.1.4 Programul funcțional

### Instruirea directă de la mâna operatorului uman

Reprezintă **o altă soluție, principal diferită**, folosită **numai pentru instruirea roboților proiectați special pentru operații de vopsire**

- Metoda se bazează pe exploatarea experienței și dexterității unui vopsitor profesionist pentru realizarea instruirii robotului
- Vopsitorul va ține cu mâna terminalul de tip pistol al robotului (în faza de instruire a robotului) și va executa ciclul (optim) de mișcări pe care-l face în vopsirea manuală

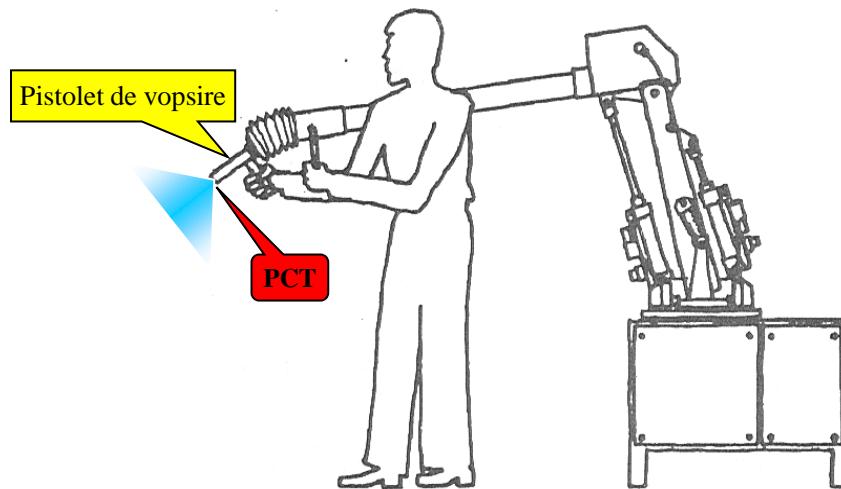


**Fig. 2.12 Instruire directă a unui robot pentru a realiza controlul continuu pe traectorie.**

## 2.1.4 Programul funcțional

### Instruirea directă de la mâna operatorului uman (continuare)

- **În timpul instruirii**, sistemul de conducere al robotului memorează datele obținute prin eşantionarea semnalelor furnizate de către traductorii de poziție din toate articulațiile
  - Rezultă o bază de date care cuprinde seturi de poziții pentru toate articulațiile la același moment de timp
  - Alți parametrii pot fi asociați fiecărui set de valori (starea activă sau inactivă a pistolului etc.)

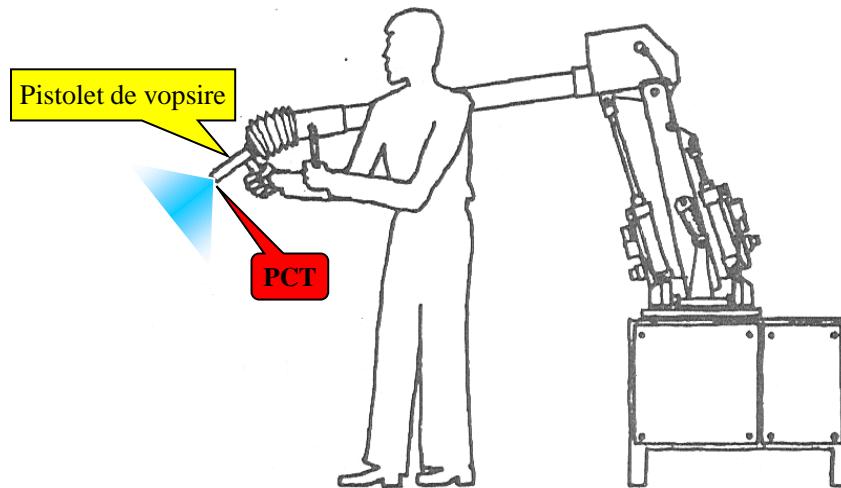


**Fig. 2.12** Instruire directă a unui robot pentru a realiza controlul continuu pe traекторie.

## 2.1.4 Programul funcțional

### Instruirea directă de la mâna operatorului uman (continuare)

- **În faza de execuție a programului robot** (ulterior instruirii):
  - **Baza de date** (constituită pe parcursul instruirii robotului) va fi folosită ca un **generator al seturilor parametrilor de referință** pentru buclele de reglare ale fiecarei articulații (care vor acționa în sensul realizării lor).
  - Astfel, **robotul va reproduce cu o bună fidelitate și precizie ciclul deprins inițial de vopsitorul profesionist**, o ilustrare elocventă a principiului funcțional al **robotului repetitiv (playback)**.



**Fig. 2.12 Instruire directă a unui robot pentru a realiza controlul continuu pe traекторie.**

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### Instruirea directă de la mâna operatorului uman (continuare)

#### **OBSERVAȚII:**

Pentru implementarea acestei metode de instruire, robotul trebuie să aibă o construcție specială. Particularitățile se referă la:

- **Sistemul de conducere:** Trebuie să realizeze funcționarea descrisă anterior
- **Structura mecanică și acționările robotului:** Sunt realizate mecanic astfel încât mișcarea terminalului de tip pistol este posibilă și facilă în faza de instruire
  - Lanțurile cinematice de transmisie a mișcării din fiecare articulație sunt obligatoriu bidirectionale (nu toți roboții au această caracteristică)
  - Forțe / cupluri de acționare sensibil egale în ambele sensuri de mișcare

**CONCLUZIE:** Rezultă deci cu claritate că **acest tip de instruire nu poate fi utilizat decât dacă robotul a fost proiectat special în acest scop.**

## 2.1.4 Programul funcțional

---

Instruirea directă de la mâna operatorului uman (continuare)

**UN FILMULET ????**

## 2.1.4 Programul funcțional

---

### **OBSERVATII:**

- Creștere spectaculoasă a performanțelor hard și soft vor determina în viitor **dezvoltarea metodelor de programare bazate pe limbaje evolute și inteligență artificială** pentru roboții de uz industrial
- Se estimează trăsăturile:
  - Operatorul industrial va fi puternic asistat la programare (sugestii, alegere prin opțiuni în liste derulate, instrucțiuni de nivel foarte înalt și fără detalii, standardizare între familii de roboți etc)
  - Biblioteci extinse de programe preinstalate pentru selecție
  - Dezvoltarea **roboticii virtuale** ca parte a **fabricației viruale** (off-line)
  - Interfețe inteligente și autoreconfigurabile pentru cuplarea la proces
  - Comunicații simple prin rețele locale și globale wireless și protocoale standardizate între echipamente ale unor producători diverși
  - Materializarea conceptului **IOT- Internet of Things** (Internetul obiectelor)

# CUPRINS

---

## **Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot**

### **2.1 Componentele sistemului robot**

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările**
- 2.1.2 Sursa energetică**
- 2.1.3 Spațiul de operare**
- 2.1.4 Programul funcțional**
- 2.1.5 Sistemul de conducere**

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

- 2.3.1 Sisteme centralizate de conducere**
- 2.3.2 Sisteme descentralizate de conducere**
- 2.3.3 Sisteme de conducere bazate pe compliantă**

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor**

## 2.1 Componentele sistemului robot

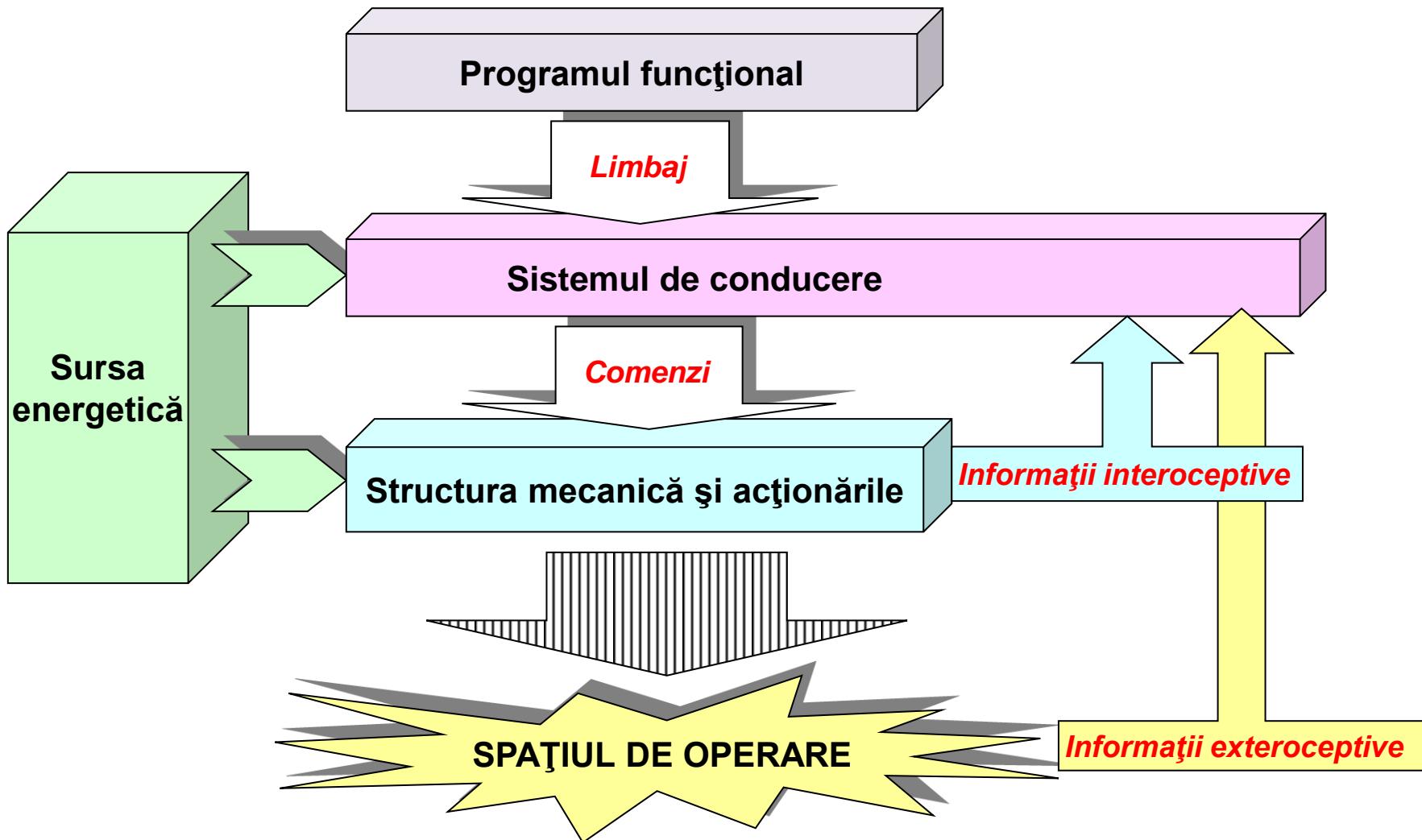


Fig. 2.1 Componentele unui sistem robot..

## 2.1.5 Sistemul de conducere

---

- Este un element esențial care determină performanțele întregului sistem robot
- Complexitatea sa este variabilă, plecând de la structuri simple bazate pe relee până la structuri multiprocesor
- Sistemul de conducere al unui robot operează sub directa comandă a programului funcțional și în conformitate cu informațiile senzoriale interoceptive și exteroceptive (Fig.2.1)
- Sistemele de conducere ale roboților evoluăți dețin aprioric mai multe elemente necesare:
  - **Modelul geometric al robotului**
  - **Modelul cinematic al robotului**
  - **Modelul dinamic al robotului**
  - **Modelul geometric al spațiului de operare**
  - **Un număr de strategii și algoritmi de conducere**

## 2.1.5 Sistemul de conducere

Complexitatea evidentă a sistemelor de conducere performante impune utilizarea unei **structuri ierarhizate**:

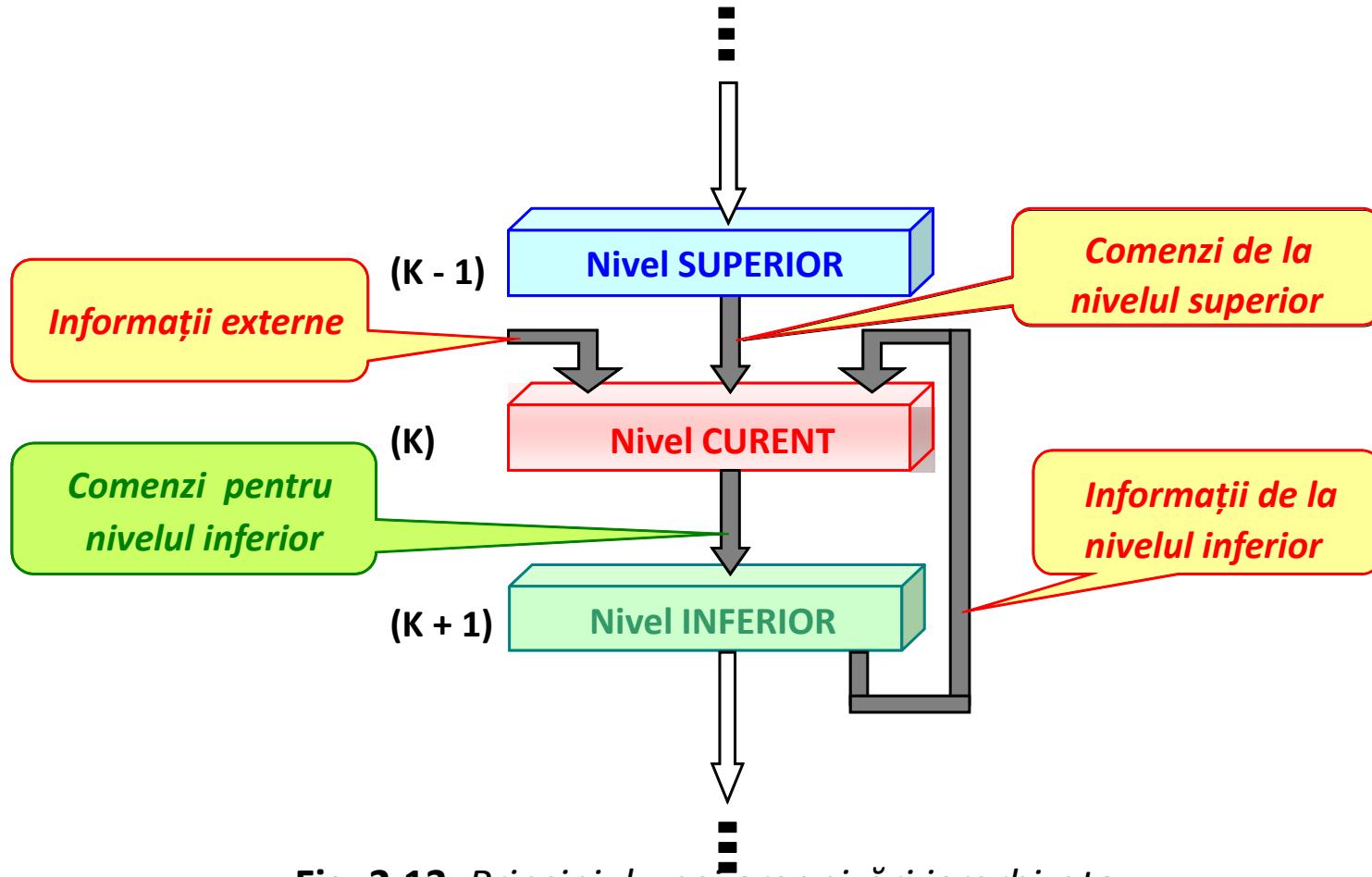


Fig. 2.13 Principiul unei organizări ierarhizate.

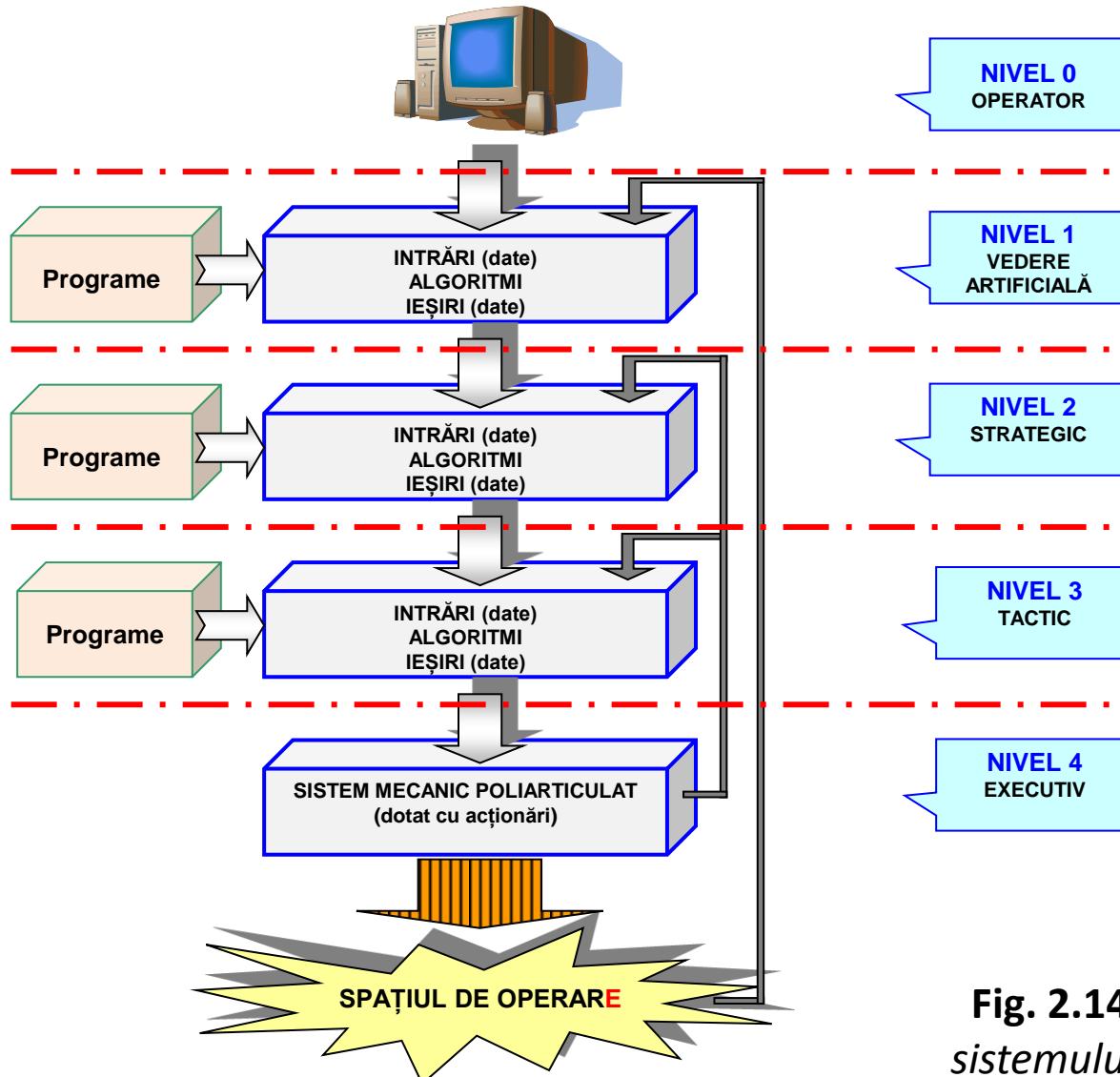
## 2.1.5 Sistemul de conducere

---

### **OBSERVAȚII:**

- Conceptul de funcționare al unei organizări ierarhizate este în principiu identic cu cel existent în structurile sociale sau relațiile organizatorice de la locul de muncă
- Numărul nivelelor ierarhice din sistemul de conducere al unui robot depinde în mod evident de complexitatea sistemului robot în ansamblul său
- În prezent, **cea mai evoluată structură a sistemului de conducere al unui robot are o organizare care include 5 niveluri ierarhice**
  - OBS: Nivelul superior este notat de regulă prin "Nivel 0" în structurile ierarhizate.

## 2.1.5 Sistemul de conducere



**Fig. 2.14** Organizarea ierarhizată a sistemului de conducere al unui robot.

## 2.1.5 Sistemul de conducere

---

**Cele 5 niveluri din structura ierarhizată au alocate următoarele funcționalități:**

- **Nivelul 0 (Operator):**
  - Este asociat operatorului uman
  - Cu un terminal adecvat se intervine în funcționarea întregului sistem robot în situații de tipul: pornire, oprire, schimbare program funcțional, avarie, testare funcțională sau modificări strategice fundamentale
- **Nivelul 1 (Vedere artificială):**
  - Permite recunoașterea automată a obiectelor din spațiul de operare
  - Folosește programe complexe, care implementează algoritmi avansați de inteligență artificială destinați prelucrării informațiilor senzoriale exteroceptive preluate din spațiul de operare al robotului prin intermediul unor senzori de tip mono sau multi cameră TV - CCD

## 2.1.5 Sistemul de conducere

---

**Cele 5 niveluri din structura ierarhizată au alocate următoarele funcționalități:**

- **Nivelul 2 (Strategic):**

- Deține strategiile posibile pentru funcționarea robotului
- Selectează strategia optimă și aplicația curentă și elaborează planul de operații necesare, folosind ca intrări:
  - Informațiile primite de la nivelul ierarhic superior
  - Informațiile proprioceptive furnizate de robot
  - Informații externe introduse direct prin programul asociat nivelului

- **Nivelul 3 (Tactic):**

- Elaborează tactica execuției, prin defalcarea planului de operații și elaborarea legii de conducere pentru fiecare articulație robot
- Principial, acest nivel este controlat similar celui precedent

## 2.1.5 Sistemul de conducere

---

Cele 5 niveluri din structura ierarhizată au alocate următoarele funcționalități (*continuare*):

- **Nivelul 4 (Executiv):**

- Este cel destinat execuției propriu-zise,
- Asigură comanda și controlul fiecărei acționări a robotului în scopul realizării aplicației dorite

### **OBSERVATII:**

- Această structură complexă nu se regăsește în sistemul de conducere al oricărui robot industrial, atât datorită costurilor cât și datorită necesităților mai modeste existente pentru marea majoritate a aplicațiilor curente
- Majoritatea roboților industriali actuali au un sistem de conducere care include **numai ultimele două nivele**, respectiv **nivelul tactic și nivelul executiv**

• **END**

- **ANUL VIITOR de scos partea pentru SCR**
- **Ar fi bine ca după fiecare slide cu terminale sa gasesc un slide cu schema interna**
- De evitat POZIȚIE și de folosit LOCAȚIE (să verific tot materialul)

## 2.1.5 Sistemul de conducere

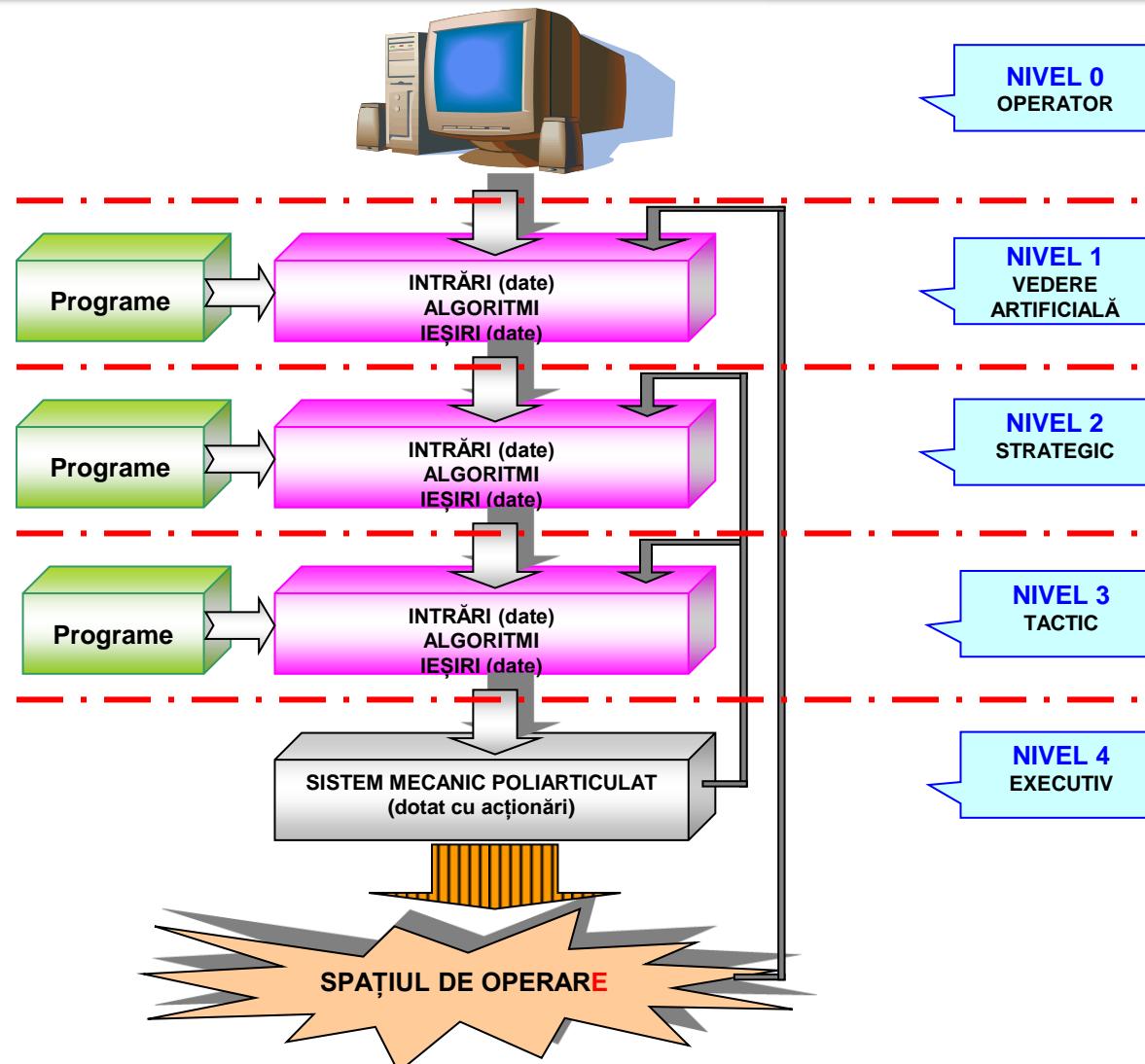


Fig. 2.14 Organizarea ierarhizată a sistemului de conducere al unui robot.

---

# Robotică / Bazele roboticii

*note de curs*

---

Prof. univ. dr. ing. Mircea NIȚULESCU

# CUPRINS

---

## **Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot**

### **2.1 Componentele sistemului robot**

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările**
- 2.1.2 Sursa energetică**
- 2.1.3 Spațiul de operare**
- 2.1.4 Programul funcțional**
- 2.1.5 Sistemul de conducere**

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere**
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere**
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă**

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor**

## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

---

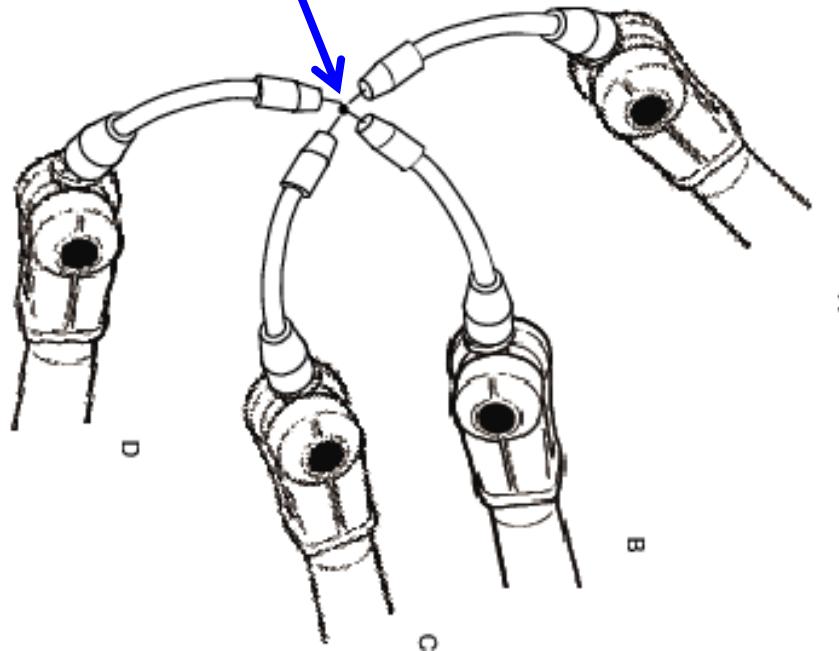
### Funcția esențială a oricărui robot industrial:

- *Generarea mișcării punctului caracteristic al terminalului său (PCT), în anumite condiții de calitate impuse*
- Orice deplasare a PCT este ***o succesiune concatenată de mici deplasări elementare***
- O deplasare elementară a PCT presupune:
  - Activarea a cel puțin unei articulații robot
  - Precizarea a trei elemente:
    - **Pozitia inițială (PI) a PCT**
    - **Pozitia finală (PF) a PCT**
    - **Curba de legătură  $\Gamma$**  care realizează legătura dintre PI și PF

## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

### **OBSERVAȚII:**

- Pentru foarte multe aplicații este la fel de importantă și ***orientarea terminalului*** de-a lungul traectoriei
- Teoretic, pentru **fiecare poziție a PCT** de-a lungul traectoriei avem și o infinitate de orientări posibile



## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

---

### **OBSERVAȚII:**

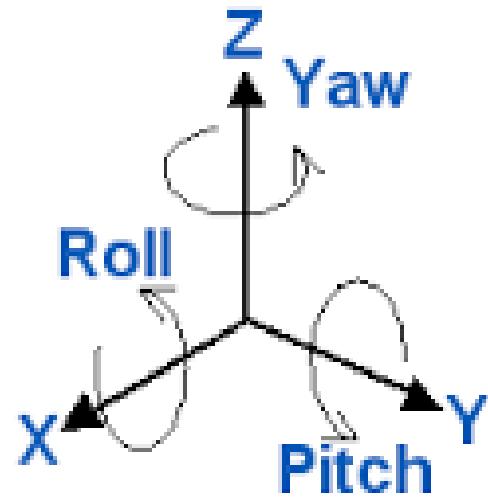
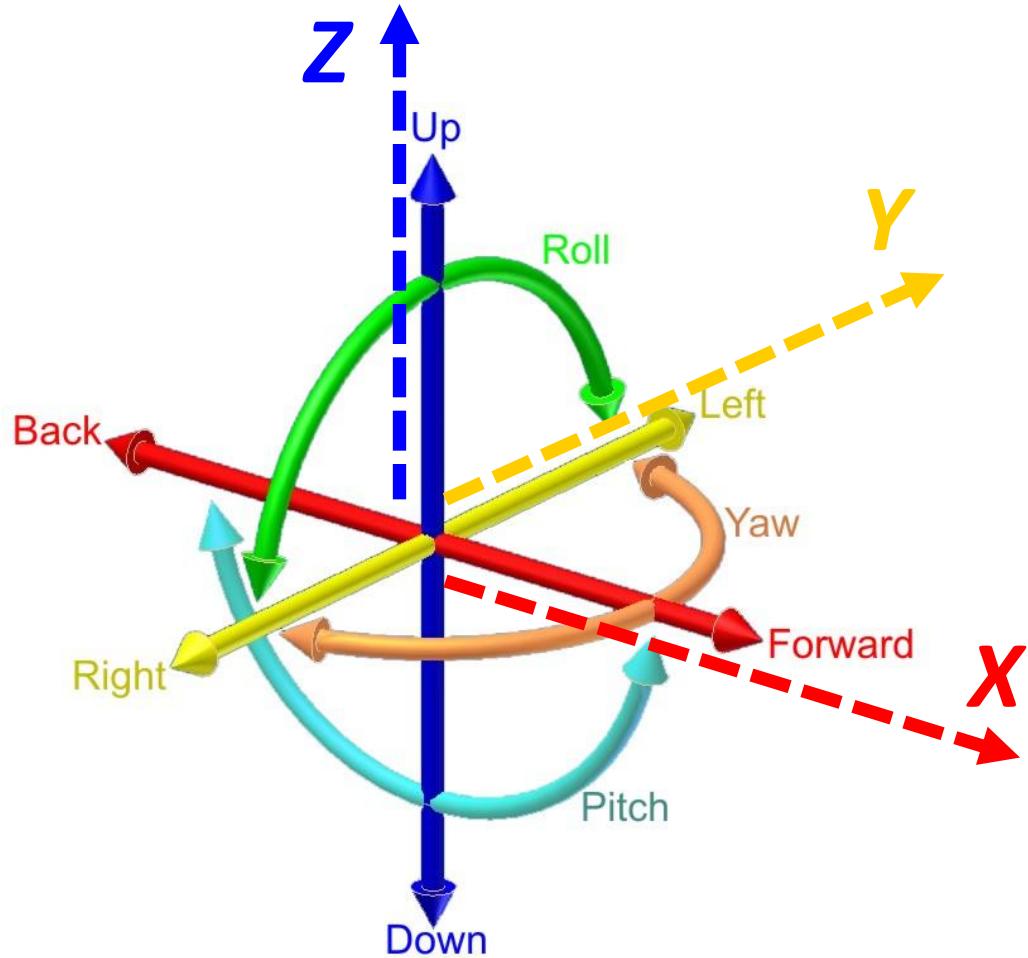
- Ansamblul *poziție + orientare PCT* la un moment de timp se numește *localizarea PCT*

***Localizare = Poziție + Orientare***

- O localizare este definită prin **coordonatele sale geometrice într-un sistem de referință fix** (de regulă asociat bazei robotului).
- În cazul general o localizare este definită prin **6 parametri**:
  - 3 pentru poziție
  - 3 pentru orientare
- Cele 6 grade de libertate (6 gdl) asociate localizării unui punct în spațiul de operare sunt prezentate în figura următoare:

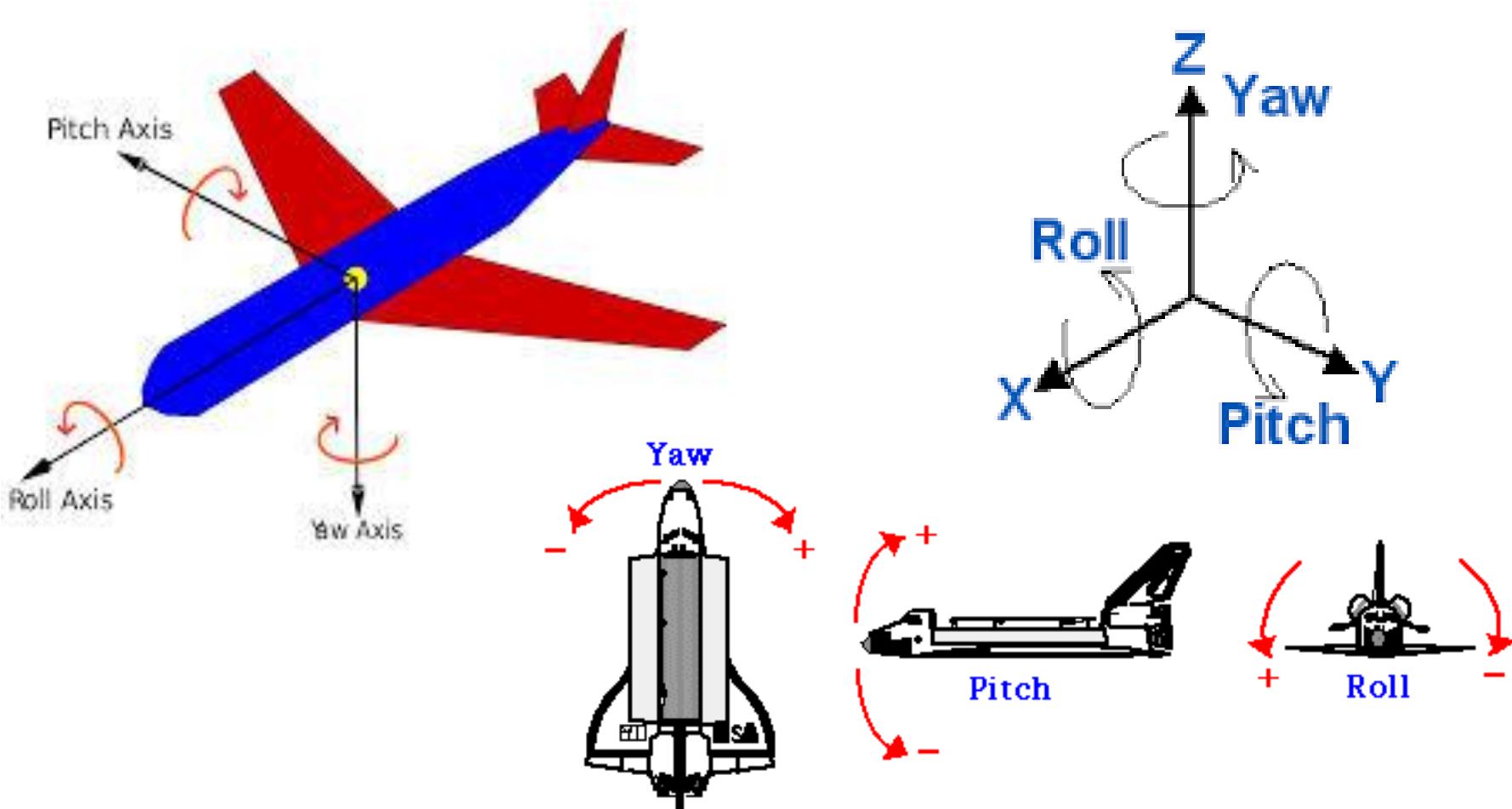
## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

Cele 6 grade de libertate (6 gdl) asociate localizării unui punct în spațiul de operare



## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

Cele 3 grade de libertate (3 gdl) asociate orientării se folosesc și  
în aviație (unghiurile Euler)



## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

---

### **OBSERVATIE:**

- Pentru simplificarea înțelegерii, în această fază ne vom referi numai la aspectele de poziționare și vom neglija deocamdată pe cele de orientare

*Localizare = **Poziție** + **Orientare***

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

O deplasare elementară poate fi supusă unor constrângeri geometrice sau temporare, după cum urmează:

1. Atât spațiul de operare cât și aplicația realizată nu introduc restricții (Fig. 2.15.a))

- Cazul cel mai simplu
- Fiind impuse  $PI$  și  $PF$ , curba de legătură  $\Gamma$  este indiferentă ca formă și ca timp de execuție, putând fi oricare din familia curbelor posibile ( $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots$ )

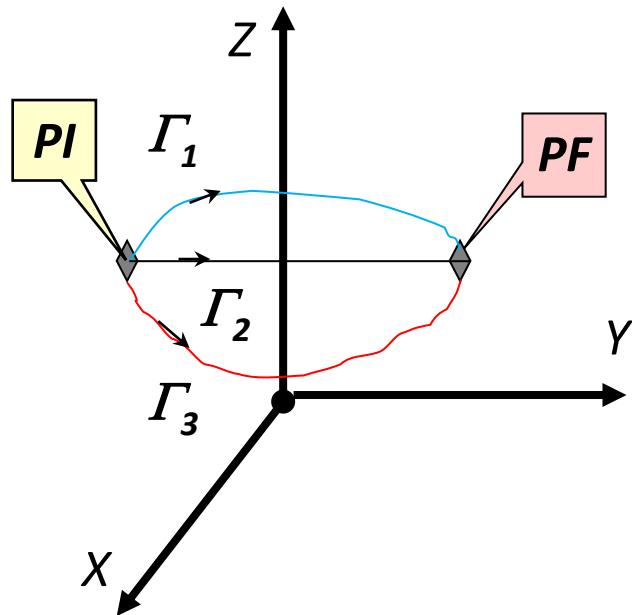


Fig. 2.15.a Deplasări elementare ale PCT robot.

## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

2. Există restricții geometrice (în spațiul de operare sau la nivelul articulației robotului care execută deplasarea elementară), dar nu există restricții temporare (Fig. 2.15.b)
- În această situație, curba de legătură  $\Gamma$  poate fi aleasă dintr-un număr mai mic de posibilități

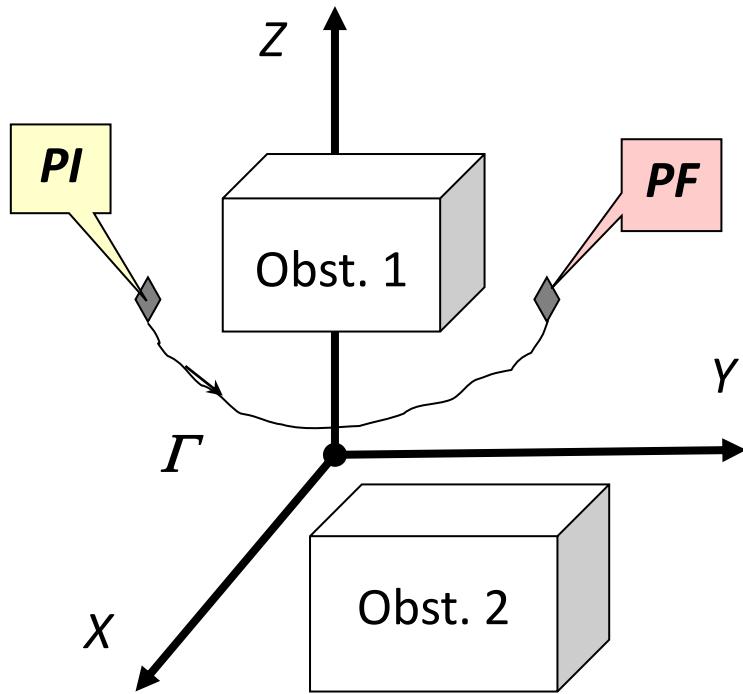


Fig. 2.15.b Deplasări elementare ale PCT robot.

## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

---

3. Există atât restricții geometrice cât și temporare, deci curba de legătură  $\Gamma$  este unică și parametrizată în timp

Ansamblul  $(\Gamma, t)$  se numește **traекторie**

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

---

Roboții industriali folosesc (aproape în exclusivitate) **articulații cu un singur grad de libertate (1 gdl)**, de tip **translație** sau de tip **rotație**

- **Motivație:** structura mecanică a fiecărei articulații este mult mai simplă cu o singură acționare

**Mărimea asociată pentru descrierea poziției unei articulații:**

- **La articulația de translație:** *lungimea deplasării părții mobile în raport cu cea fixă*
  - Acționarea generează ***o forță*** pentru glisarea părții mobile pe partea fixă
- **La articulația de rotație:** *unghiul de rotație al părții mobile față de partea fixă*
  - Acționarea generează ***un cuplu*** pentru rotația părții mobile pe partea fixă

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

---

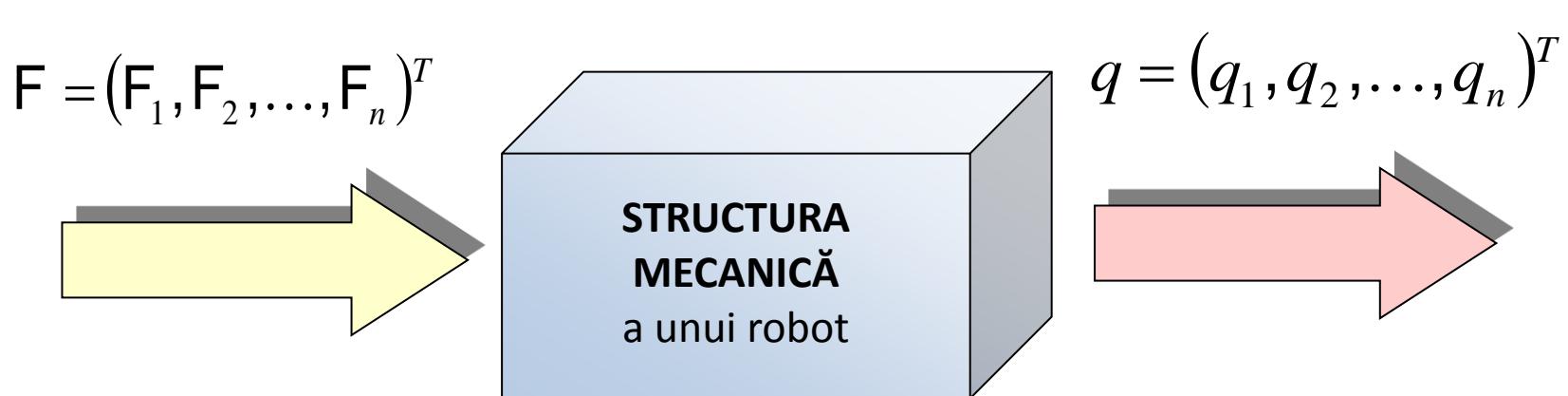
Deoarece un robot poate avea ambele tipuri de articulații, se resimte necesitatea unei exprimări simple și unitare, care să acopere cele două cazuri. Se introduc noțiunile:

- **Coordonată internă generalizată** pentru descrierea pozițiilor articulațiilor
  - O coordonată internă generalizată poate fi în particular:
    - ✓ O distanță, pentru articulația de translație
    - ✓ Un unghi, pentru articulația de rotație
- **Forță generalizată** pentru a ne referi la efectul acționărilor
  - O forță generalizată poate fi în particular:
    - ✓ **O forță**, generată de către sistemul de acționare al articulației de translație
    - ✓ **Un cuplu**, generat de către sistemul de acționare al articulației de rotație

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

**Ca obiect de conducere**, structura mecanică a unui robot poate fi privită ca un **element orientat** caracterizat prin:

- Un **vector de intrare** (**forțele generalizate aplicate de acționări**)
- Un **vector de ieșire** (**oordonatele interne generalizate din articulații**)



**Fig. 2.16** Structura mecanică a unui robot, privită ca obiect orientat.

## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

---

Aplicarea unui vector de intrare (set de forțe generalizate dezvoltate în articulații) nu conduce la același vector de ieșire pentru orice robot:

- **Legătura ieșire - intrare** depinde de construcția structurii mecanice și a acționărilor, respectiv **modelul matematic al robotului**, obținut din **ecuațiile de cinematică și de dinamică asociate fiecărui robot**
- **Acest model matematic este în general destul de complicat** (conține funcții neliniare, cu variabile atât coordonatele interne generalizate cât și primele lor două derivate, adică vitezele și accelerațiile din articulații)

**Modelul matematic al robotului (legătura ieșire – intrare)** poate fi redat simbolic sub forma:

$$f_i \begin{pmatrix} q_i & \dot{q}_i & \ddot{q}_i \end{pmatrix} = F_i \quad \text{unde } i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### Problema directă în conducerea unui robot

Cunoscând vectorul forțelor generalizate aplicate în articulațiile robotului la un moment de timp, se cere determinarea poziției, vitezei și accelerației instantanee la nivelul PCT pe traекторia curentă

- Ecuatiile de legătură formează **modelul matematic direct al robotului**

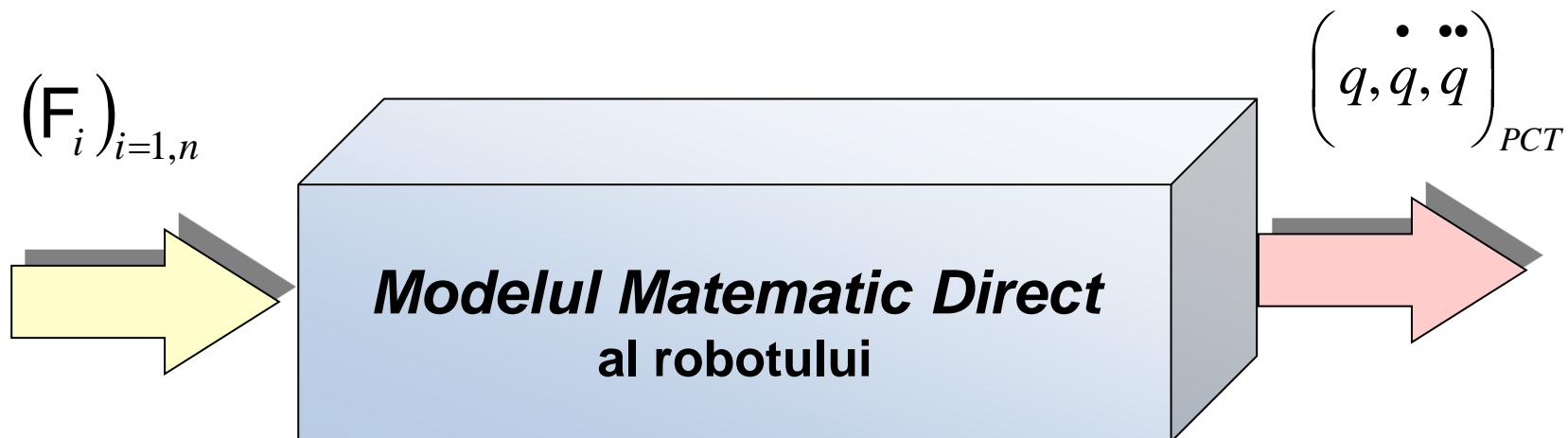


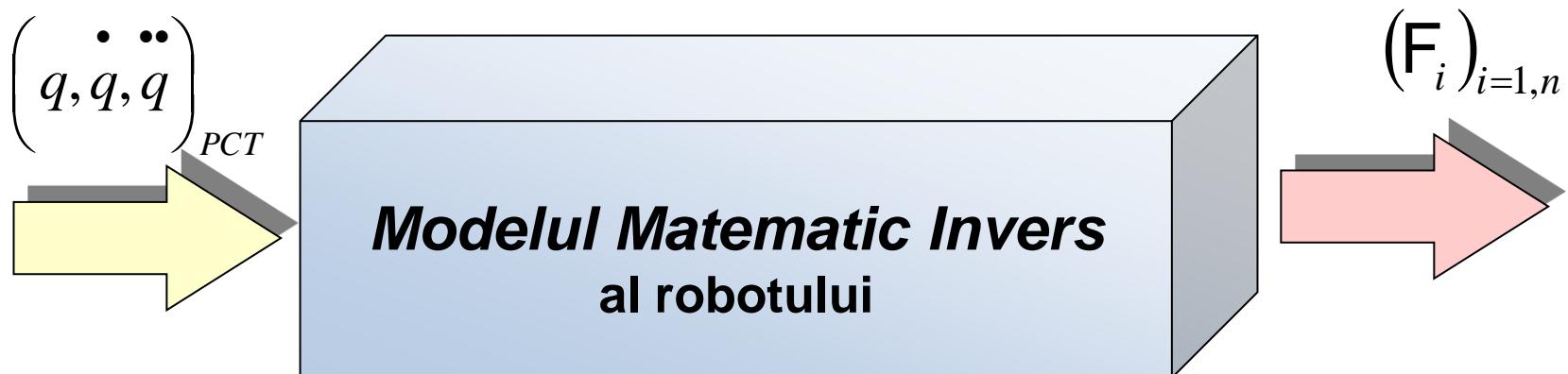
Fig. 2.17 Conducerea unui robot: problema directă de conducere.

## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

### Problema inversă în conducerea unui robot

Cunoscând poziția, viteza și accelerația instantanee a PCT pe traectoria curentă, se cere determinarea vectorului forțelor generalizate care trebuie dezvoltate în articulațiile robotului pentru realizarea tuturor acestor parametri, la același moment de timp.

- Ecuațiile de legătură formează **modelul matematic invers al robotului**



**Fig. 2.18** Conducerea unui robot: **problema inversă de conducere**.

**OBS:** Din punct de vedere matematic, atât problema directă, dar mai ales cea inversă sunt extrem de laborioase și relativ complicate.

# CUPRINS

---

## **Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot**

### **2.1 Componentele sistemului robot**

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările**
- 2.1.2 Sursa energetică**
- 2.1.3 Spațiul de operare**
- 2.1.4 Programul funcțional**
- 2.1.5 Sistemul de conducere**

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere**
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere**
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă**

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor**

## 2.3 Generarea unei traекторii elementare

---

Se consideră o articulație robot de tip rotație care trebuie să se deplaseze dintr-o poziție inițială  $P_I$  într-una finală  $P_F$

- Sistemul de conducere al articulației trebuie să asigure comanda adecvată a acționării din articulație, rezultând în final o evoluție tipică pentru poziție, viteză și accelerare de tipul ilustrat prin **tahogramele** asociate în Fig. 2.19.

## 2.3 Generarea unei traекторii elementare

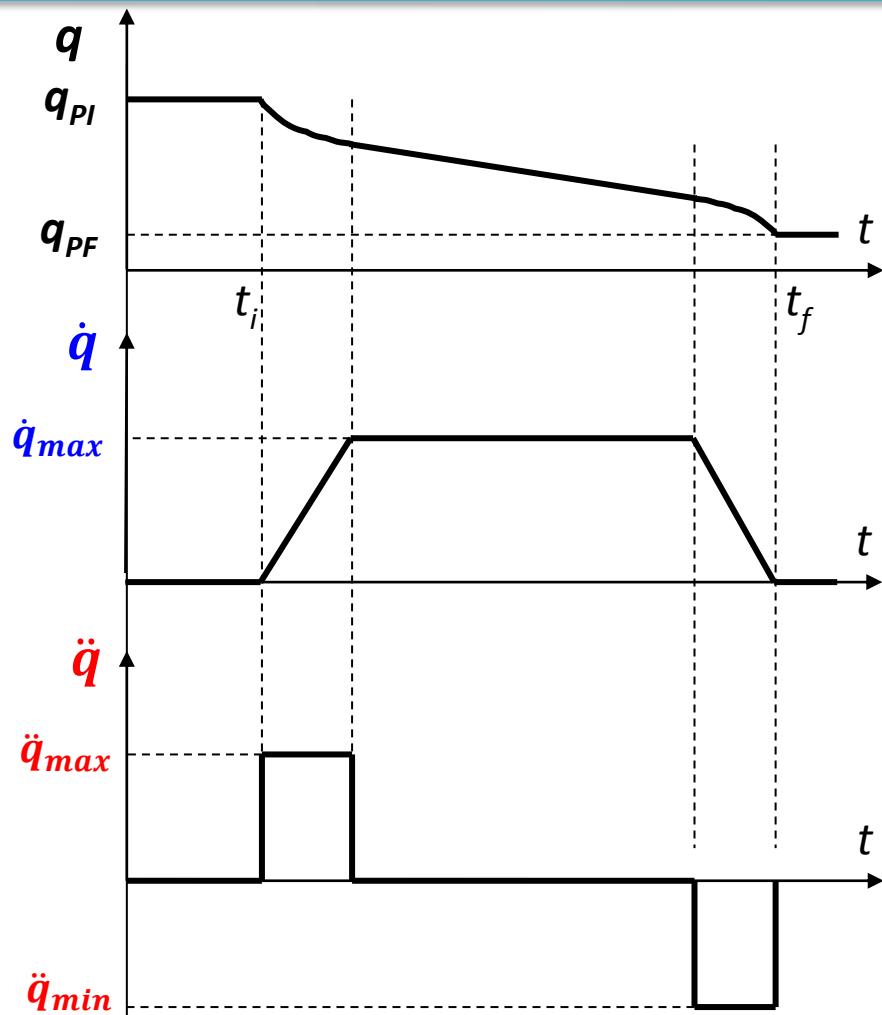
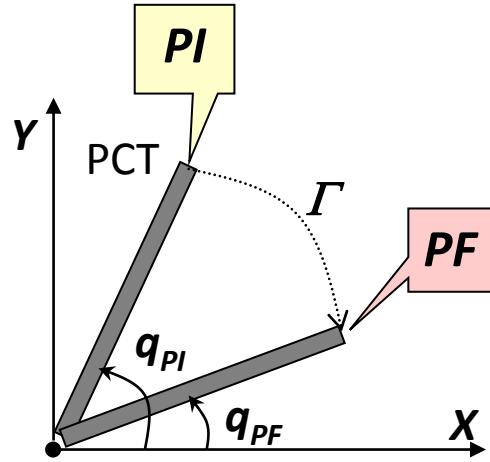


Fig. 2.19 Tahogramele tipice ale coordonatei generalizate, vitezei și accelerării pentru o deplasare elementară.

## 2.3 Generarea unei traекторii elementare

---

- Din cauza numeroșilor **factori perturbatori** (electrici, mecanici, interni sau externi în raport cu sistemul robot), simpla programare a mișcării unei articulații nu înseamnă automat și realizarea sa în condițiile de calitate dorite. Ca urmare:
  - Este necesară **conducerea în circuit închis** pentru articulațiile robotice
- Din punct de vedere al organizării generale a unui sistem de conducere robotic există trei soluții:
  - **Sisteme centralizate de conducere**
  - **Sisteme descentralizate de conducere**
  - **Sisteme de conducere bazate pe compliantă**

# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere**
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.3.1 Sistem centralizat de conducere

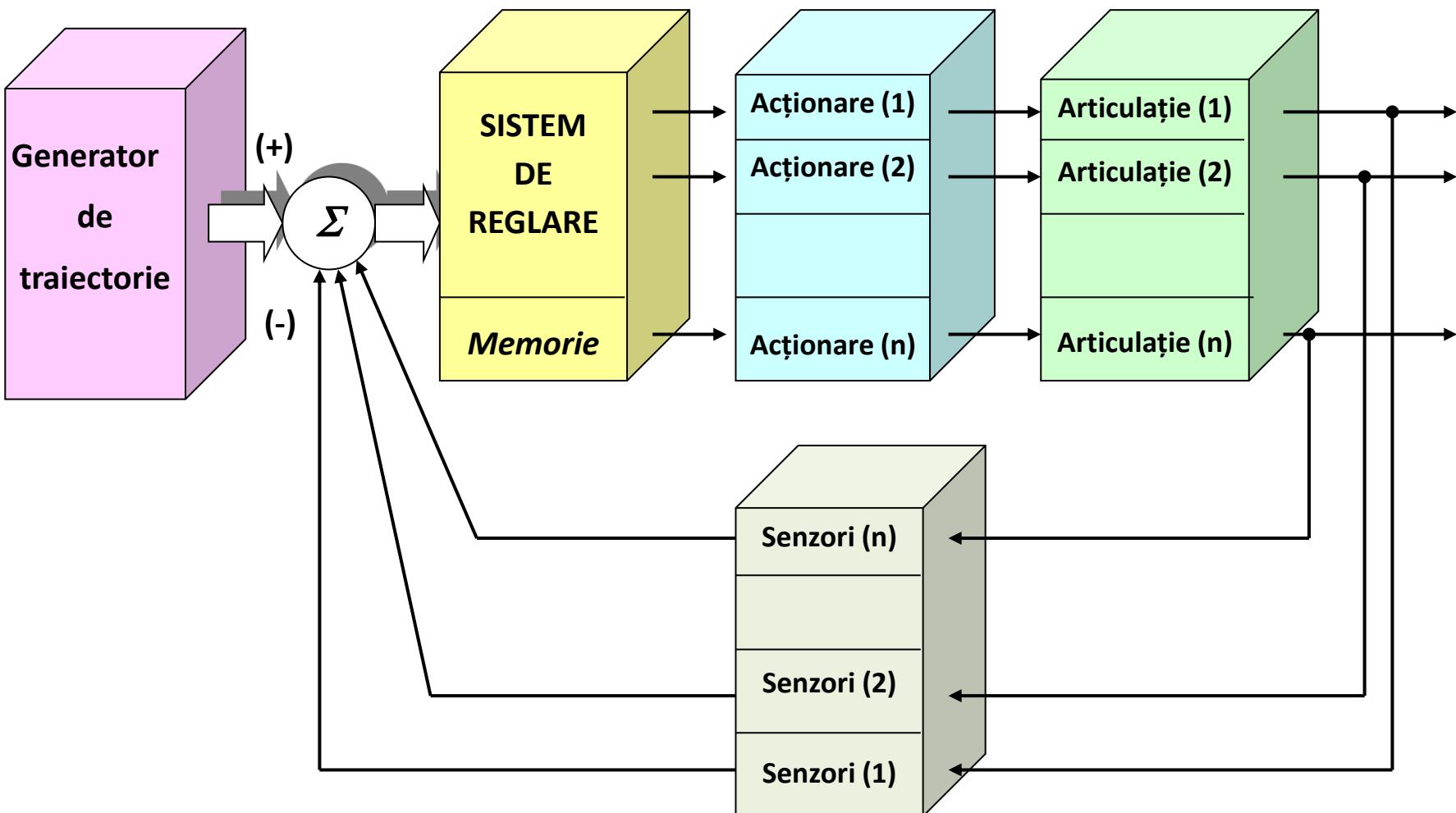


Fig. 2.20 Sistem centralizat de conducere pentru un robot.

## 2.3.1 Sistem centralizat de conducere

---

### Trăsături:

- **Un sistem de reglare unic**, care tratează în mod unitar și centralizat întreaga structură mecanică a robotului, furnizând legea de reglare necesară fiecărei acționări
- Este în realitate foarte complex, atât soft cât și hard:
  - Deși aparent prezența unui singur sistem de reglare pare un avantaj, **acesta trebuie să fie foarte rapid și performant**, deci **mult mai scump**
  - Abordarea tuturor articulațiilor nu se poate face decât prin **tehnica eșantionării**, fiind necesar și modelul matematic asociat întregii structuri mecanice
  - **Sistemul de reglare va trebui să conțină o memorie pentru:**
    - **Stocarea legilor de reglare** precum și a **valorilor parametrilor** asociati fiecărei articulații
    - **Stocarea tuturor mărimilor reglate** pe durata unui ciclu de eșantionare a articulațiilor robotului

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere**
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere

### Trăsături:

- **Buclele de reglare nu sunt total decuplate**, întrucât la nivelul articulațiilor există intercondiționări reciproce introduse de structura mecanică
- Influența întregii structurii mecanice asupra articulației curente este **o perturbație**
- Rezultă **o structură de conducere cu  $n$  bucle de reglare cvasi-independente**, net avantajoasă datorită compactității, defalcării pe articulații și utilizării unor modele matematice mult mai simple.

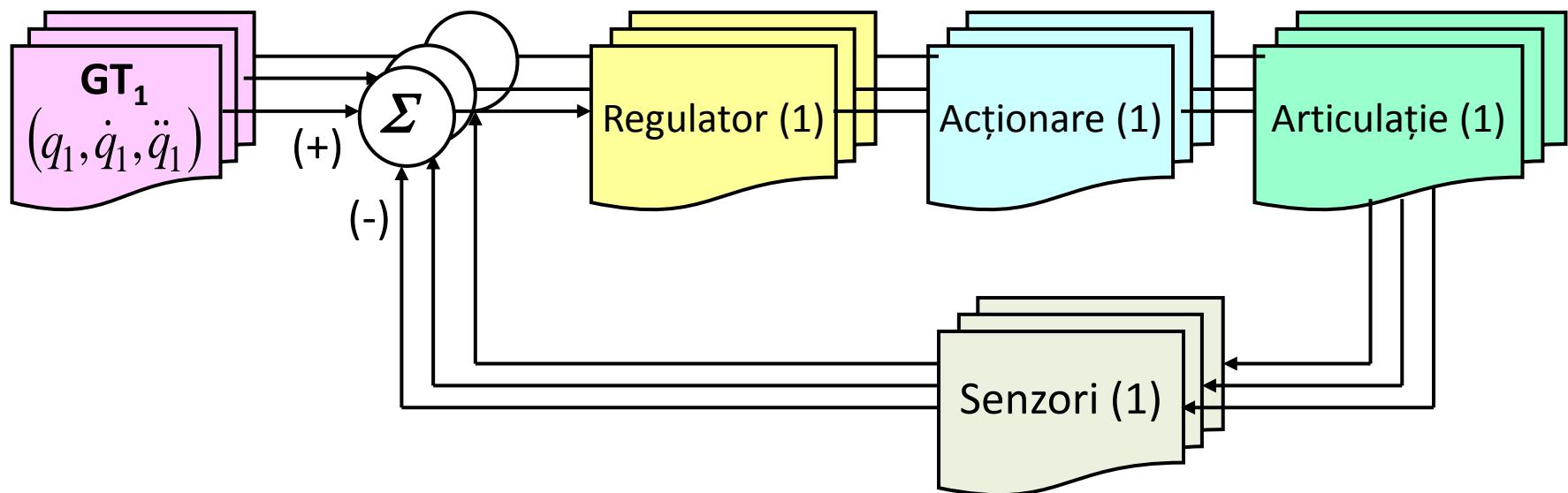


Fig. 2.21 Sistem descentralizat de conducere pentru un robot.

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă**

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

---

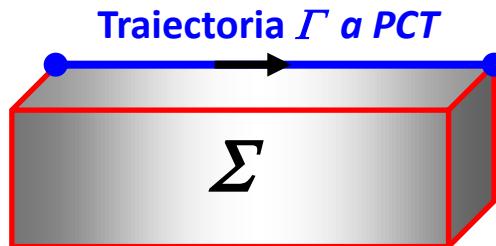
### Trăsături:

- Există aplicații robotizate (ex. sudură cu cordon continuu) în care **punctul characteristic al terminalului PCT trebuie să fie în contact permanent cu un anumit obiect**
  - Generarea acestor traекторii (ca o succesiune de poziții de către sistemele de conducere clasice) este dificilă iar uneori poate conduce la insucces
  - Mult mai avantajos este un sistem de conducere care acționează în sensul controlului forței de apăsare a PCT pe obiectul sudat
- Se numește **mișcare compliantă a unui robot** acel tip de traectorie care asigură deplasarea punctului characteristic al terminalului în contact permanent cu o anumită suprafață
- O mișcare compliantă poate fi realizată în două moduri:
  1. Programarea clasică a traectoriei dorite
  2. Controlul forței de apăsare a PCT pe suprafața de contact

## 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 1. Mișcare compliantă prin programarea clasică a traectoriei dorite

Aparent este mai simplă, întrucât nu necesită facilități suplimentare introduse aprioric în sistemul de conducere al robotului



Pot apărea însă frecvent situații nedorite în care fie:

- Este pierdută compliantă robot - obiect (iar calitatea procesului tehnologic este compromisă)
- Apare un blocaj mecanic la nivelul articulațiilor (care va conduce la declanșarea protecției unei acționări, întreruperea funcționării și intrarea într-un regim de avarie a întregului sistem robot)

Cauze:

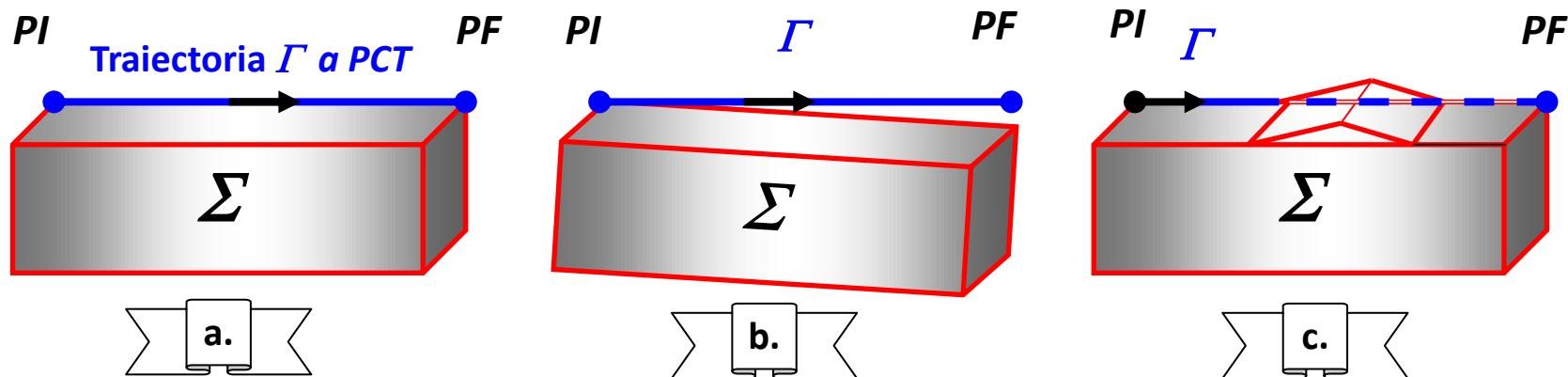
- Programare defectuoasă a traectoriei PCT
- Gradul prea mare de "variabilitate neprevăzută" a suprafețelor de contact (posibilă în mediul industrial)

## 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 1. Mișcare compliantă prin programarea clasică a traекторiei (CONTINUARE)

Două exemple în care programare clasică a traectoriei (**Fig.a**) conduce la insucces (pierderea compliantă):

- **Fig. b:** Traекторia PCT este riguros orizontală, dar **suprafața de contact  $\Sigma$  nu mai respectă planeitatea inițială**
- **Fig. c:** Calitatea suprafetei de contact  $\Sigma$  nu este uniformă, astfel încât **rugozițările prezente vor conduce la blocarea unei articulații și intrarea robotului în regimul de avarie, fără atigerea PF**



## 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2. Mișcare compliantă prin controlul forței de apăsare a PCT pe suprafața de contact

Deficiențele amintite pot fi înlăturate numai dacă sistemul de conducere dispune de **o facilitate suplimentară, care permite controlul forței normale de apăsare pe suprafața de contact  $\Sigma$ :**

- Informația senzorială este asigurată de către **un traductor de forță** (marcă tensometrică) care măsoară forța  $F_z$
- Controlul forței este asigurată de **o buclă de reglare suplimentară**

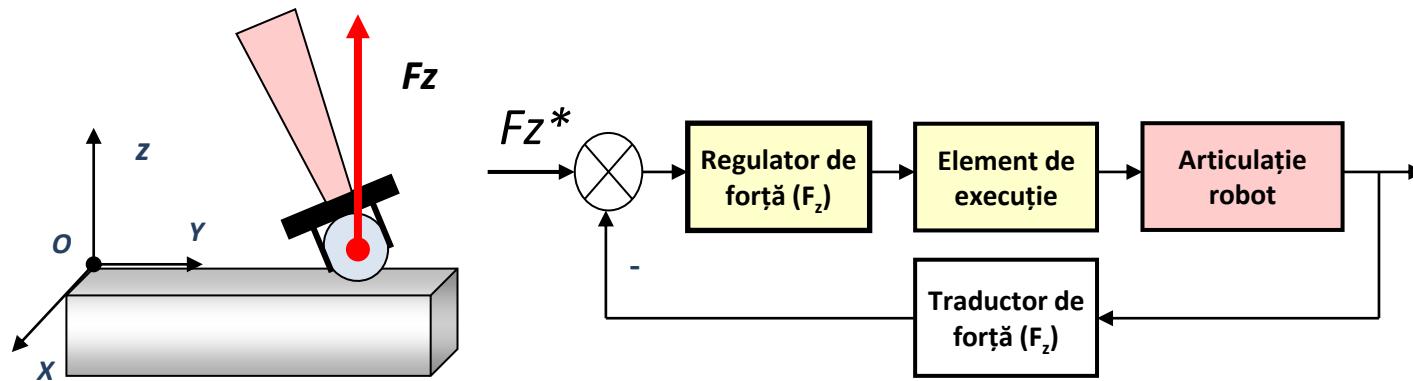


Fig. 2.23 Realizarea controlului într-o mișcare compliantă.

## 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

---

### 2. Mişcare compliantă prin controlul forţei de apăsare a PCT pe suprafaţa de contact (CONTINUARE)

#### OBSERVATII:

- Un robot nu efectuează numai mişcări compliante într-o aplicaţie de sudură cu cordon continuu (există şi deplasări ale terminalului robot între cordoanele de sudură necesare, în apropierea obiectului sudat, întrerupând contactul fizic cu acesta)
- Se numeşte **mişcare de gardă**, deplasarea terminalului robot **în proximitatea unui obiect, fără contact direct cu acesta**
- **Sistemul de conducere trebuie să poată comuta legea de conducere a robotului** între **controlul poziţiei** şi **controlul forţei**, deci **între o deplasare de gardă şi una compliantă**

# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

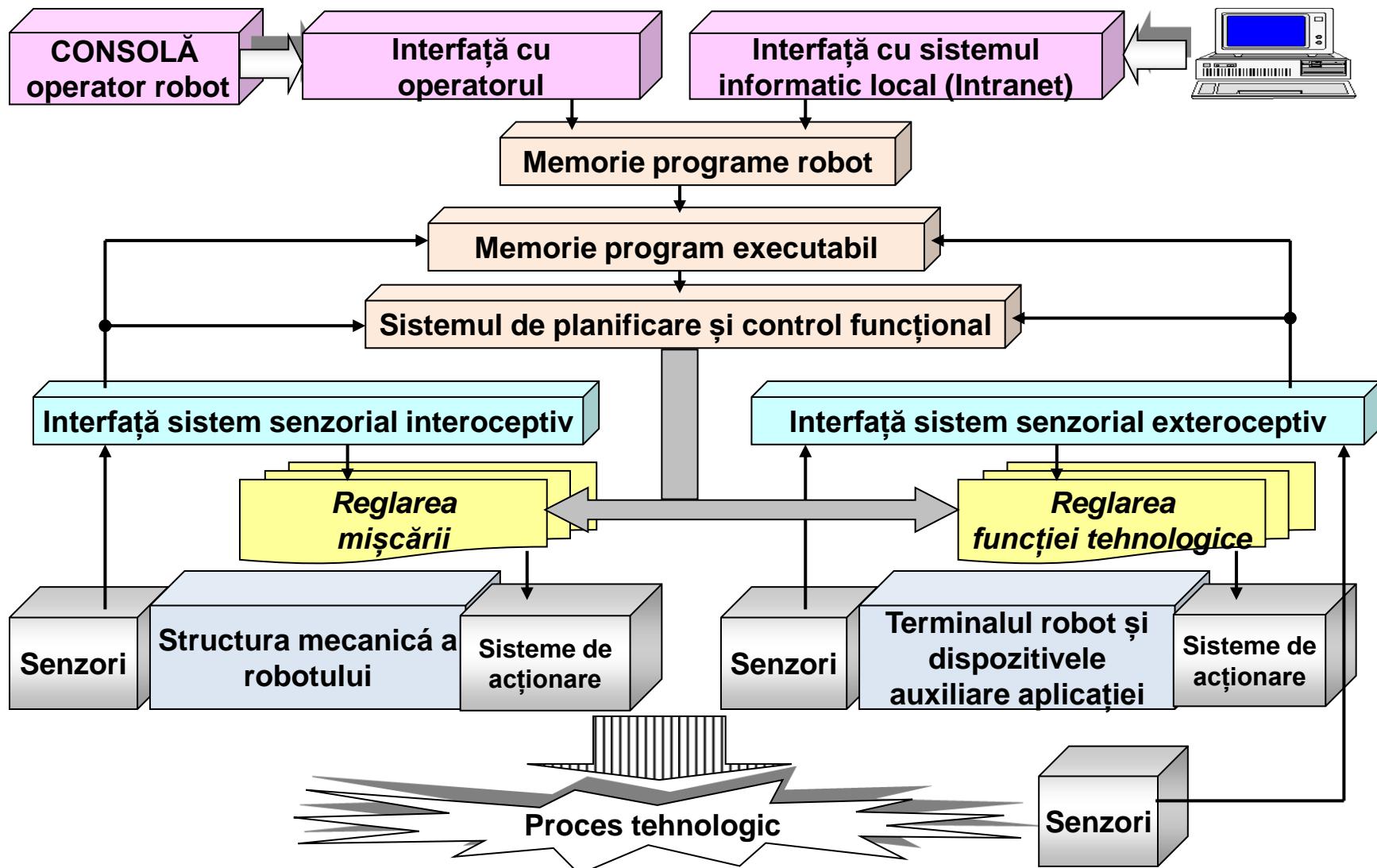


Fig. 2.24 Soluție clasică de organizare a sistemului de conducere al unui robot industrial.

## 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

Sistemele de conducere ale robotilor industriali pot fi implementate in diferite tehnologii, electrice sau fluidice

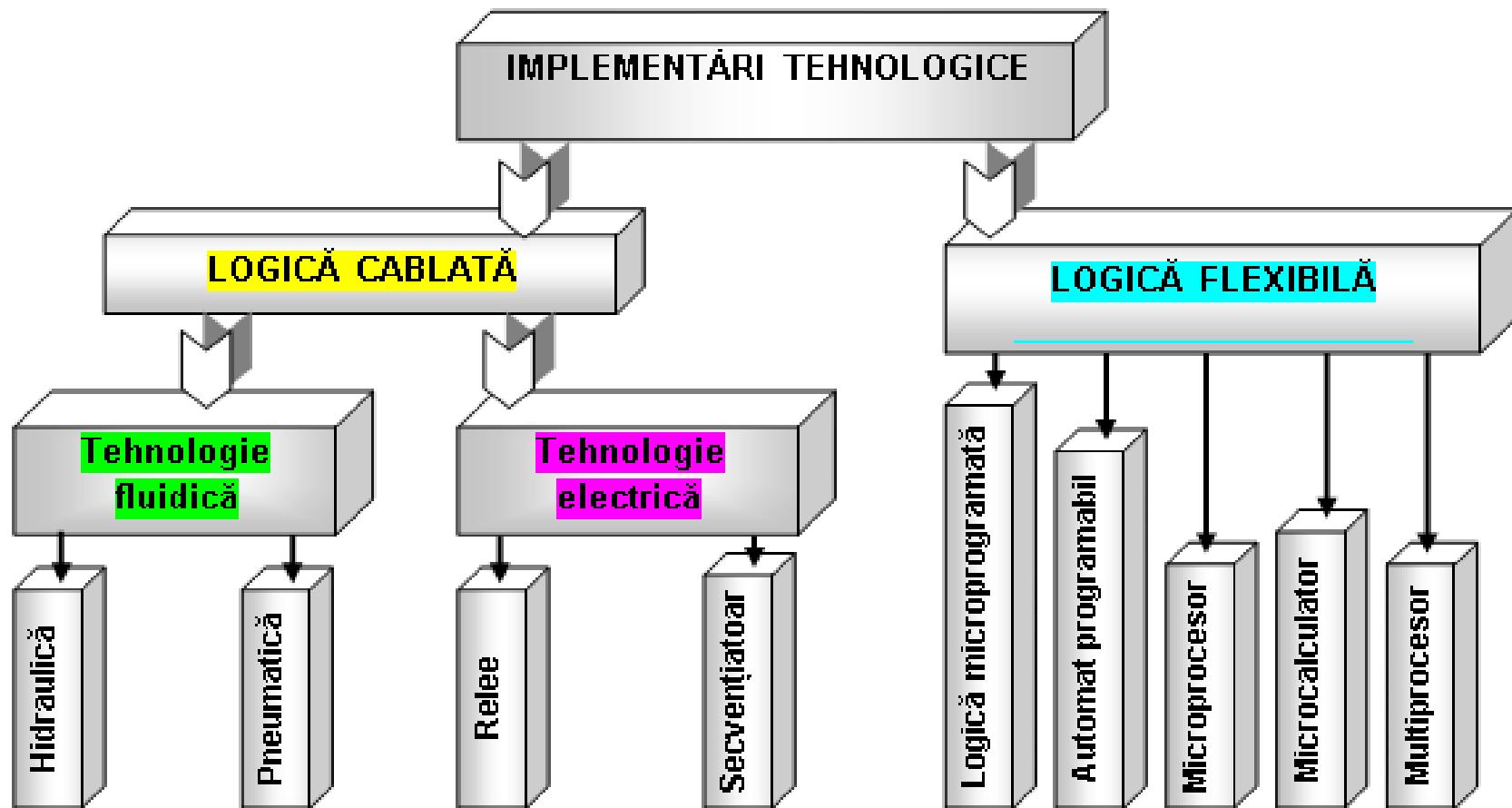


Figura 2.25 Tehnologii folosite pentru realizarea sistemelor de conducere ale robotilor industriali.

## 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

---

### **OBSERVATII:**

- Tehnologia folosită pentru realizarea sistemului de conducere este evident în strânsă corelație și cu performanțele de care sistemul robot este capabil în ansamblul său
- Tehnologiile electrice sunt extrem de diverse, plecând de la structuri simple bazate pe relee până la structuri multiprocesor
- Scăderea semnificativă a prețului de cost pentru tehnologiile electronice evolute a contribuit în ultimii ani la puternica dezvoltare a acestor soluții, în paralel cu oferirea unor facilități de operare din ce în ce mai performante și la prețuri accesibile.

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată

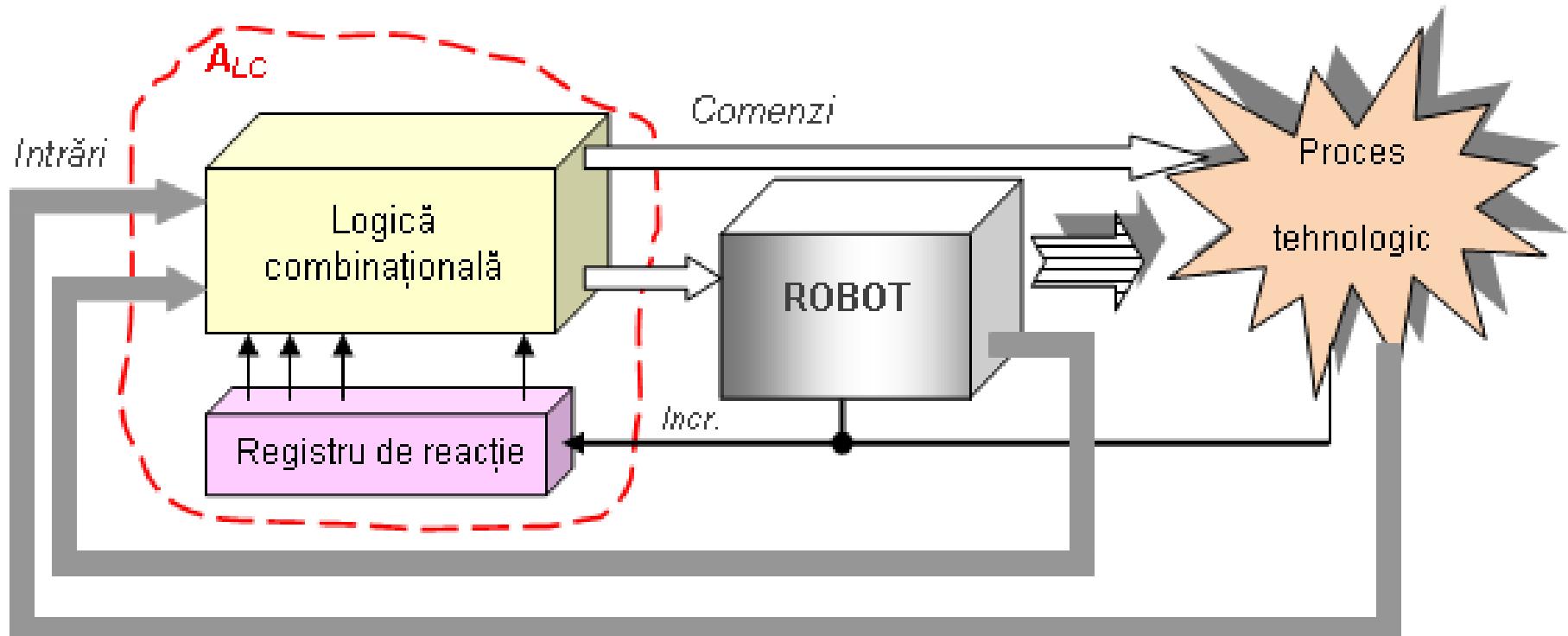


Figura 2.26 Arhitectură în logică cablată.

## 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată

---

### Trăsături:

- Se utilizează numai pentru conducerea structurilor robotice puțin evolute (manipulatoare, care realizează cicluri funcționale simple și prestable, deoarece modificări ulterioare sunt fie greu de realizat, fie imposibile fără o reproiectare integrală)
- **Automatul în logică cablată  $A_{LC}$**  este format dintr-un **bloc de logică combinațională** și un **regisztror de reacție** (suportul stării curente)
  - Primește intrări de la sistemul senzorial al robotului și de la procesul tehnologic.
  - Pe baza acestora, a logicii interne cablate și a evoluției sale anterioare, el determină setul de comenzi necesare pentru întreaga aplicație robotizată.
  - Trecerea la următoarea secvență funcțională se realizează prin incrementarea regisztrului de stare (realizată cel mai adesea de către un semnal logic provenit de la un senzor amplasat pe robot sau în procesul tehnologic și care confirmă realizarea comenzii curente)

# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată

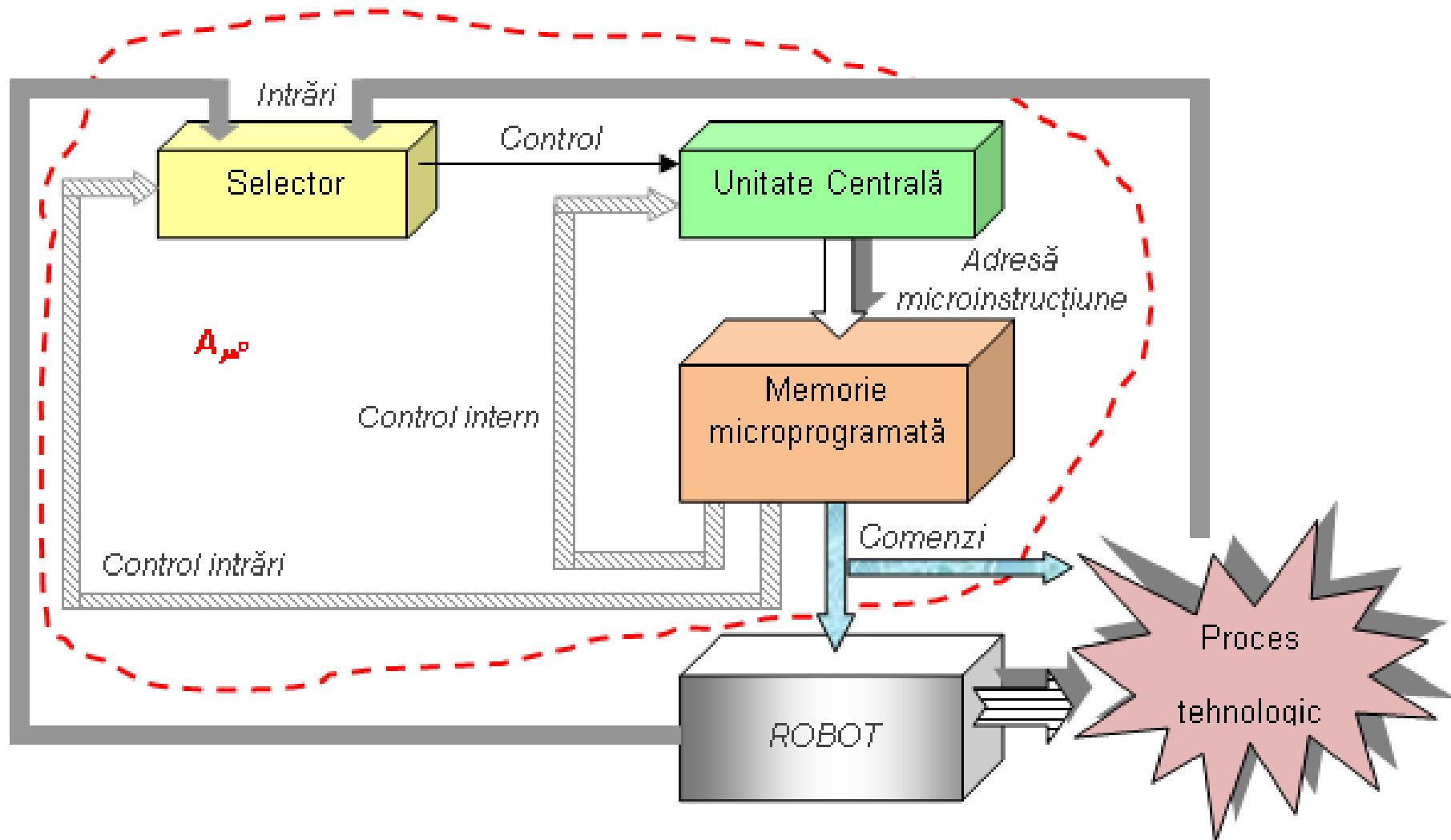


Figura 2.27 Arhitectură de conducere în logică microprogramată.

## 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată

---

### Trăsături:

- Programul funcțional este insriptionat bit cu bit în memoria internă, sub forma unor **microinstructiuni**
- Memoria internă este cel mai adesea de tip EPROM, iar introducerea programului funcțional se realizează cu ajutorul unui dispozitiv adecvat numit și **arzător de memorie**
- Numărul și tipul microinstructiunilor crează diverse facilități în programare:
  - Se poate demonstra faptul că **folosind numai 5 tipuri de microinstructiuni poate fi implementată orice diagramă de stări** aferentă unei funcționări
  - Prezența altor microinstructiuni suplimentare (în afara setului minimal) are deci rolul de a ușura considerabil sarcina programatorului

## 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată

---

### Trăsături (continuare):

- **Orice microinstructiune disponibilă are un format prestabilit** care cuprinde mai multe **câmpuri**, fiecare cu un anumit număr de biți alocați.
  - Așa cum prezintă Fig. 2.27, prezența a cel puțin **3 câmpuri (control intern, control intrări și comenzi)** este necesară.
- Selectia microinstructiunii care urmează a fi extrasă din memorie este realizată cu ajutorul unei **unități centrale**.
  - Selectia este determinată atât de **controlul intern** exercitat de microinstructiunea curentă cât și de **controlul extern** exercitat de un **selector al intrărilor**, aflat la rândul său tot sub controlul microinstructiuni curente.

# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

### Trăsături:

- Funcție de tipul automatului, performanțele robotului pot fi variabile, dar în general nu depășesc gama aplicațiilor care solicită **un control de tipul punct cu punct**.
- Sistemul de conducere poate fi asigurat de oricare dintre **categoriile existente de automate programabile**:
  - **Cu procesare scalară**
  - **Cu procesare vectorială**
  - **Cu structură biprocesor (scalar / vectorial)**

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

### Automate programabile cu procesare scalară

- Au numai de **seturi restrânse de instrucțiuni logice**, cu care se pot face programe funcționale simple (cicluri simple de manipulare)

### Automatele programabile cu procesare vectorială

- Realizează **suplimentar și anumite operații aritmetice**, deci permite programe funcționale robot mai complexe, integrarea mult mai facilă a unor senzori numerici (de poziție etc.)

### Automatele programabile biprocesor

- Sunt **structuri mixte, care conțin atât un automat scalar cât și unul vectorial**, cuplate însă prin aceleași magistrale interne comune (**date, adrese și control**)
- Devine posibilă **procesarea paralelă** (scalară și vectorială), precum și coordonarea lor prin schimburi interne de mesaje pe magistrale, ceea ce conduce la un spor evident de flexibilitate în programare și de viteză în execuția unui program.

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

### Trăsături:

- Programarea robotului se bazează pe setul standard de instrucțiuni ale automatului și se realizează folosind o **consolă de programare**
  - După ce programul este finalizat și testat, acesta se transferă în **memoria program**, consola putând fi detasată
- **Flexibilitatea acestor arhitecturi** rezidă din însăși flexibilitatea oricărui automat programabil:
  - **Flexibilitate hardware:** din setul standard de module oferite de producător pot fi selectate ca tip și număr cele care corespund aplicației robotizate, cuplarea fiind realizată prin magistralele interne standardizate ale automatului (date, adrese, control)
  - **Flexibilitatea software:** rezidă din setul de instrucțiuni disponibil dar și din posibilitatea relativ facilă de modificare și stocare în memoria program a unui program realizat anterior

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

Figura următoare prezintă un sistem de conducere robotic cu o arhitectură tipică bazată pe **un automat programabil  $A_{AP}$  cu procesare scalară**.

- **Efectuează numai operații logice și utilizează operanzi scalari de un bit** (deci magistrala de date va avea lățimea de un singur bit)
- Prezența a mai multor blocuri specializate funcțional și cuplate prin magistrale interne unice este o dovedă de evoluție față de arhitecturile microprogramate, prezentate anterior
- **Memoria program  $MP$** , de tip EPROM, este suportul programului funcțional pe timpul execuției programului robot.
  - **Lățimea  $MP$**  = numărul de biți existenți în structura tuturor instrucțiunilor logice recunoscute de automat
  - **Lungimea  $MP$**  = numărul maxim de instrucțiuni care pot fi incluse într-un program (uzual 2 - 16K instrucțiuni, uneori mai mult)
- Memoria program este înscrisă cu programul robot folosind **o consolă de programare** care are un spațiu identic de memorie (dar de tip RAM) și care substituie integral  $MP$  pe toată durata editării și testării programului.
  - După finalizarea programului (sub aspectul editării și verificărilor funcționale preliminare), consola permite transferul acestuia în  $MP$  și este detașată de la automatul programabil.

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

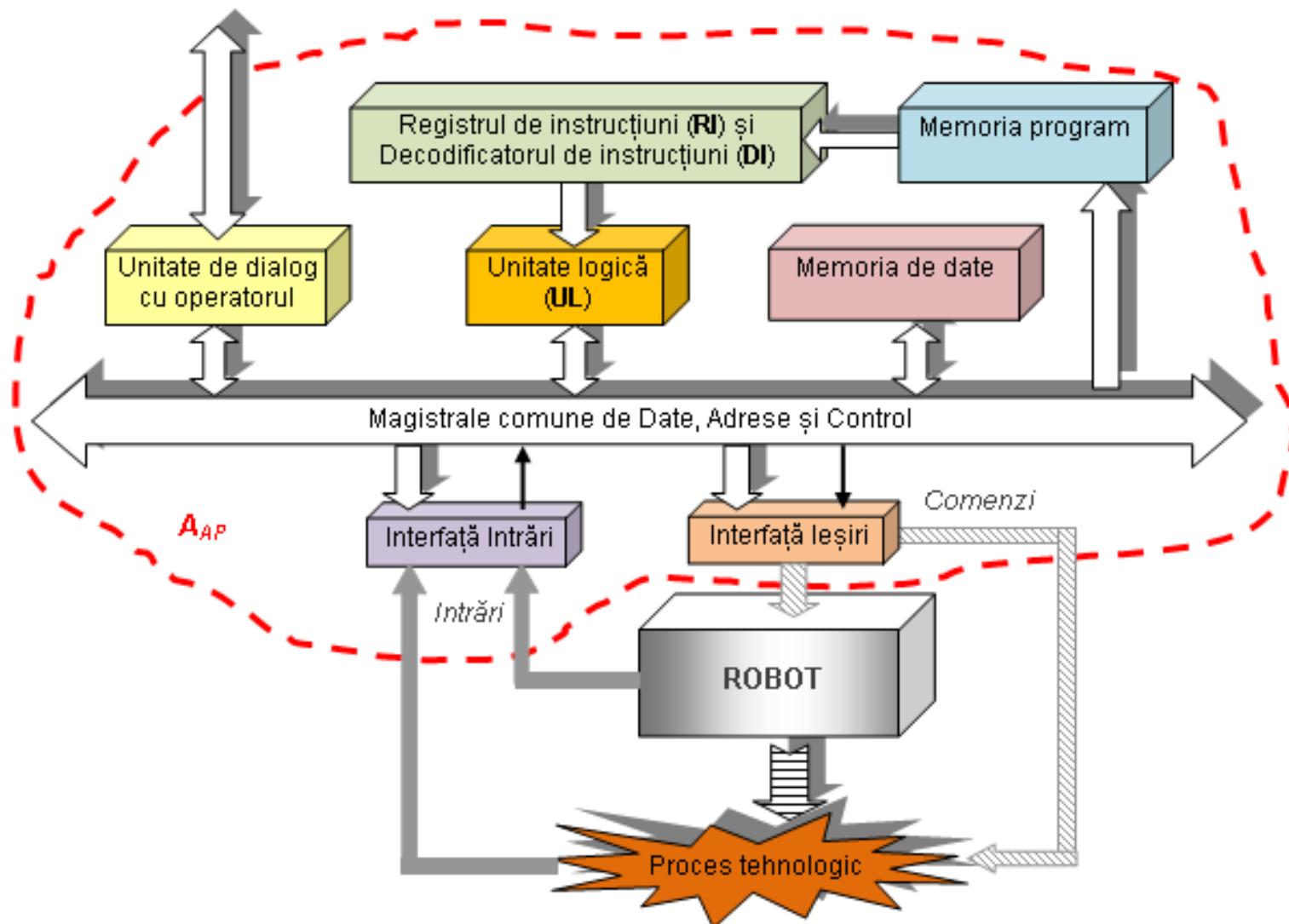


Figura 2.28 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil cu procesare scalară.

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

### FUNCȚIONARE:

- **Instrucțiunea curentă**, extrasă din memorie, este transferată în **registrul de instrucțiuni (RI)**
- **Decodificatorul de instrucțiuni (DI)** analizează bit cu bit fiecare câmp predefinit al instrucțiunii și elaborează toate comenziile interne necesare automatului să o execute
  - Comenzi sunt transferate prin intermediul **magistralei de control** către toate blocurile componente ale automatului implicate de execuția instrucțiunii curente
- **Unitatea logică (UL)** realizează prelucrarea logică asupra operandului specificat prin adresa sa
- **Memoria de date (MD)** are rolul de a asigura stocarea intermediară a operandului pe parcursul funcționării, de a realiza "imagini" ale tuturor intrărilor și ieșirilor scalare ale automatului la un moment de timp etc.
  - Deoarece la automatele programabile scalare operanții și datele sunt reprezentate pe un singur bit, și lățimea acestei memorii este tot de un bit

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

### **FUNCȚIONARE** (continuare):

**Cuplarea  $A_{AP}$  cu aplicația robotizată** se realizează prin intermediul unei **interfețe de intrări** și a unei **interfețe de ieșiri**

- Acestea includ pe fiecare canal (după caz) circuite specialized care asigură:
  - ✓ Separarea galvanică (cu optocuplori, pentru protecție)
  - ✓ Formatarea semnalelor la cerințele specifice:
    - filtrarea paraziților de natură electrică
    - îmbunătățirea fronturilor de comutăție prin triggerare
    - translația nivelurilor de tensiune pentru compatibilitatea reciprocă automat – proces
    - amplificarea în putere etc.
  - ✓ Alte performanțe sau cerințe specifice.

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor

---

### Trăsături:

- Figura următoare prezintă o arhitectură tipică de conducere  $A_{\mu P}$  de acest tip
- Se remarcă:
  - organizarea modulară cunoscută (unitate centrală, ROM cu programele de conducere pentru robot, memorie RAM)
  - cuplarea internă prin magistrale unice de date, adrese și control
- Cuparea fizică a robotului și a aplicației se realizează printr-o interfață de intrări și a unei interfețe de ieșiri (ambele cu canale logice și analogice)
- Arhitectura dispune și de alte interfețe specializate:
  - interfață pentru cuplarea la un calculator central (care facilitează dialogul om-robot și obținerea unor informații generale asupra stării curente a robotului sau a aplicației în ansamblul său)
  - interfață pentru cuplarea **consolei operator**

## 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor

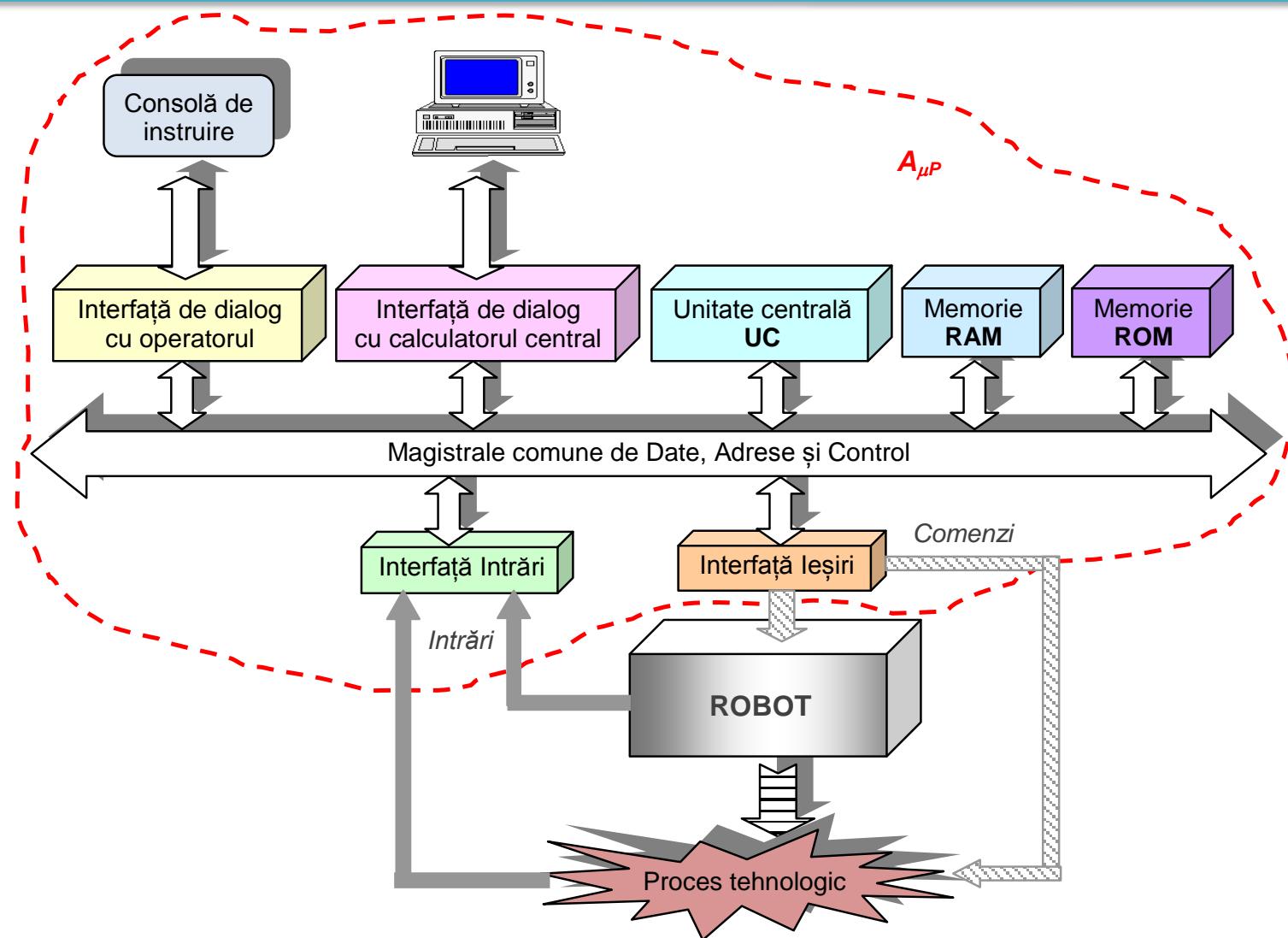


Figura 2.29 Arhitectură de conducere bazată pe un microprocesor.

## **Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot**

### **2.1 Componentele sistemului robot**

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările**
- 2.1.2 Sursa energetică**
- 2.1.3 Spațiul de operare**
- 2.1.4 Programul funcțional**
- 2.1.5 Sistemul de conducere**

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere**
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere**
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă**

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor**

## 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

---

### Trăsături:

- Figura următoare prezintă o organizare tipică simplificată  $A_{MP}$  a unei astfel de arhitecturi
- O arhitectură multiprocesor are întotdeauna **o organizare ierarhizată** și se caracterizează prin **execuția paralelă a mai multor sarcini** (sau **task-uri**) care sunt distribuite individual diferitelor niveluri
  - **Un procesor Master** coordonează întreaga structură și rulează algorimii aferenți interfațării operator-robot precum și a strategiei generale de funcționare a sistemului robot.
  - Pe nivelul inferior sunt **mai multe procesoare Slave**, care realizează în paralel anumite sarcini specifice sub directa coordonare a procesorului Master:
    - ✓ Câte un procesor pentru controlul fiecărei articulații robot
    - ✓ Procesor pentru tratarea informațiilor senzoriale exteroceptive captate din aplicație și de la dispozitivele auxiliare
    - ✓ Procesor pentru controlul terminalului robot
    - ✓ Procesor alocat recunoașterii obiectelor din scena de operare, etc.

## 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

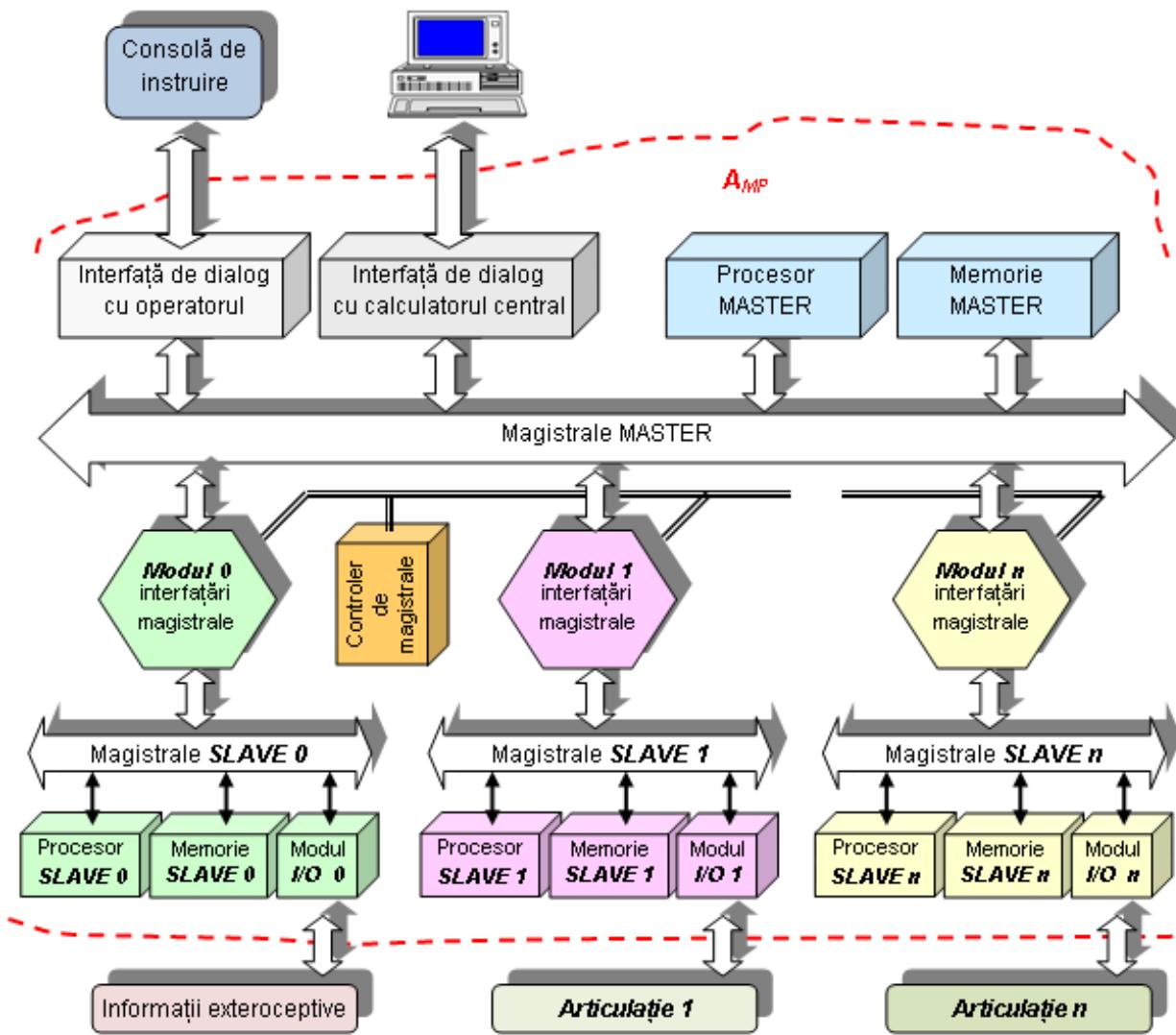


Figura 2.30 Arhitectură de conducere multiprocesor.

## 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

---

### Trăsături:

- Toate procesoarele *Slave* își realizează în paralel activitățile, fiecare coordonând integral numai acțiunea care îi este repartizată
- Procesorul *Master* transmite fiecărui procesor *Slave* comenzi strategice ce-i revin și recepționează periodic mesaje asupra îndeplinirii obiectivelor specifice și a eventualelor erori apărute
  - Conceptual, acest schimb multiplu de mesaje se realizează prin **tehnica căsuțelor poștale** plasate în anumite zone predefinite ale memoriei *Master* și a memoriilor *Slave*.
- Un rol important într-un sistem de conducere de acest tip revine **controlerului de magistrale**.
  - El asigură cuplarea magistralei *Master* cu diferențele magistrale *Slave* în condiții de siguranță funcțională, regimuri de prioritate și corectitudine a datelor vehiculate
- Prin funcționarea specifică de tip **multitasking**, această arhitectură evoluată asigură suportul hardware necesar sistemelor de conducere robotice extrem de complexe

• **END**

- **ANUL VIITOR de scos partea pentru SCR**

---

# Robotică / Bazele roboticii

*note de curs*

---

Prof. univ. dr. ing. Mircea NIȚULESCU

## Capitolul 3. Modele geometrice și cinematicice ale robotilor

- În acest capitol vom aborda principalele elemente legate de cinematica robotilor
- Pentru aceasta vor fi prezentate:
  - ✓ soluții de reprezentare grafică a structurii cinematicice a robotilor
  - ✓ aspecte fundamentale legate de couplele cinematice
  - ✓ criterii de clasificare a couplelor cinematice, a lanțurilor cinematicice și a robotilor industriali
  - ✓ principalele tipuri de sisteme de coordonate folosite
  - ✓ transformările elementare și transformările omogene între acestea
  - ✓ obținerea modelelor geometrice și cinematicice folosind transformări matriceale omogene

## Capitolul 3. Modele geometrice și cinematice ale robotilor

3.1 Lanțuri cinematice

3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot industrial

3.3 Modelul geometric direct

3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

3.5 Metoda Denavit – Hartenberg

3.6 Modele cinematice. Studii de caz

    3.6.1 Robotul cartezian fără terminal complet decuplat

    3.6.2 Robotul cilindric cu terminal complet decuplat

    3.6.3 Robotul sferic (polar) cu terminal complet decuplat

    3.6.4 Robotul antropomorf (vertical articulat) cu terminal complet decuplat

## Capitolul 3. Modele geometrice și cinematice ale robotilor

3.1 Lanțuri cinematice

3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot industrial

3.3 Modelul geometric direct

3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

3.5 Metoda Denavit – Hartenberg

3.6 Modele cinematice. Studii de caz

3.6.1 Robotul cartezian fără terminal complet decuplat

3.6.2 Robotul cilindric cu terminal complet decuplat

3.6.3 Robotul sferic (polar) cu terminal complet decuplat

3.6.4 Robotul antropomorf (vertical articulat) cu terminal complet decuplat

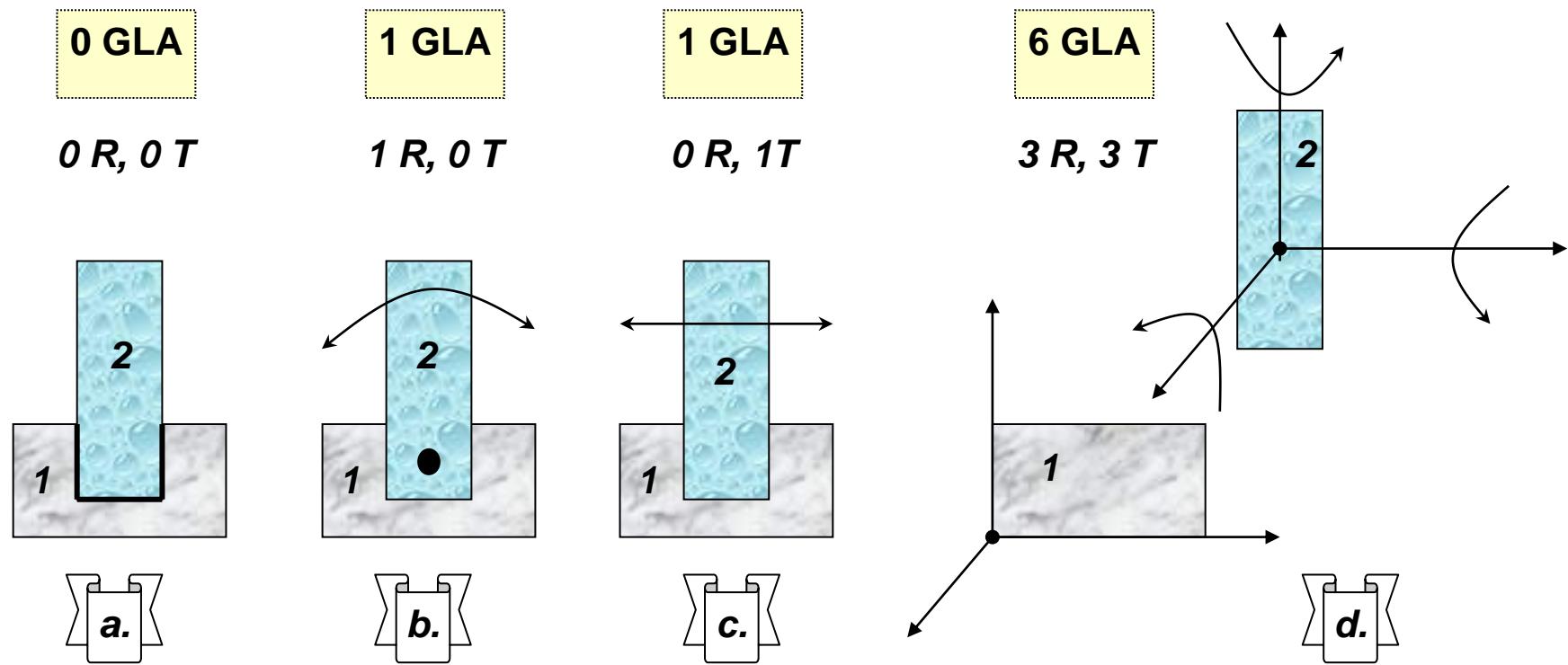
### 3.1 Lanțuri cinematice

---

- Prin ***lanț cinematic*** se înțelege o succesiune de corpuri, teoretic rigide, cupate prin *articulații* (sau *legături*) ce introduc între două corpuri adiacente una sau mai multe mișcări *de tip translație* sau *de tip rotație*
  
- Prin ***numărul gradelor de libertate ale unei articulații (GLA)*** care leagă două corpuri se înțelege numărul parametrilor independenți care definesc mișcarea unui corp în raport cu celălalt corp

### 3.1 Lanțuri cinematice

În funcție de **tipul articulației** (sau **legăturii**) dintre cele două corpuri adiacente, există mai multe cazuri care prezintă interes pentru construcția lanțurilor cinematice ale roboților



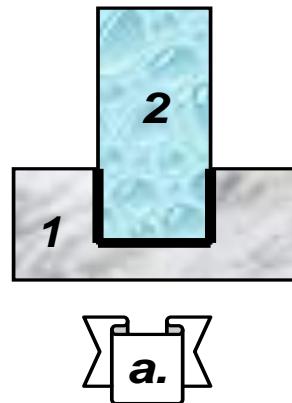
**Fig. 3.1** Cazuri fundamentale pentru legătura (articulația) existentă între două corpuri (1) și (2).

### 3.1 Lanțuri cinematice

- În Fig. 3.1.a, cele două corpuri sunt legate printr-o îmbinare fixă, astfel încât **corpul 2 nu se poate deplasa în raport cu corpul 1**
  - Altfel spus, există o **articulație degenerată** între cele două corpuri (caz extrem), care nu introduce nici o rotație (**0R**) și nici o translație (**0T**)
  - **Numărul gradelor de libertate** ale acestei “articulații” este evident nul (**GLA=0**)

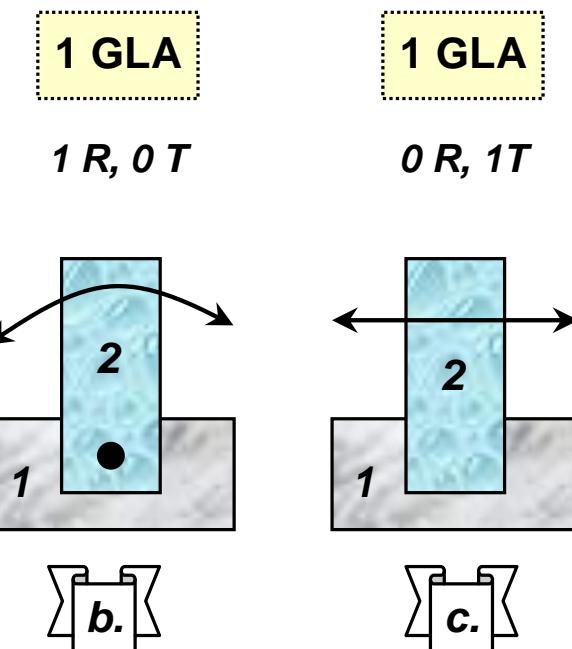
**0 GLA**

**0 R, 0 T**



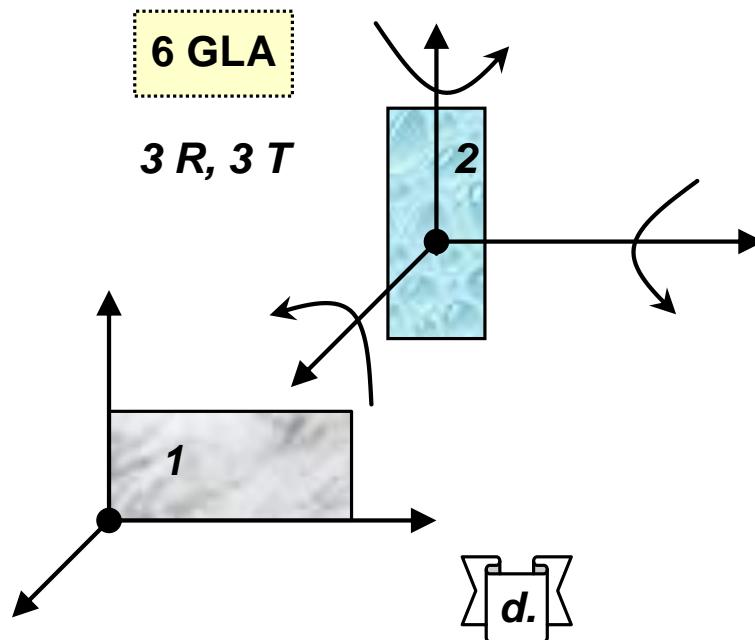
### 3.1 Lanțuri cinematice

- În Fig. 3.1.b, corpul 2 se poate roti în raport cu corpul 1, articulația fiind de tipul **(1R, 0T)**, deci **caracterizată de un singur grad de libertate**
- În Fig. 3.1.c, corpul 2 poate translata în raport cu corpul 1, articulația fiind de tipul **(0R, 1T)**, deci **caracterizată tot de un singur grad de libertate**



### 3.1 Lanțuri cinematice

- În Fig. 3.1.d cele două corpuri sunt total independente unul de celălalt, respectiv tot o **articulație degenerată** (caz extrem)
  - Considerând corpul 1 fix, corpul 2 poate translata și se poate rota în raport cu toate axele sistemului de referință atașat, rezultând **(3R, 3T)**, deci **6 grade de libertate în total** (**maxim posibil** ce caracterizează mișcarea fără nici o restricție a unui corp liber)



### 3.1 Lanțuri cinematice

---

- Se numește **clasă a unei articulații (CA)** complementul față de 6 a numărului gradelor de libertate ale articulației

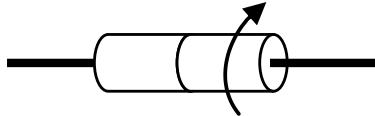
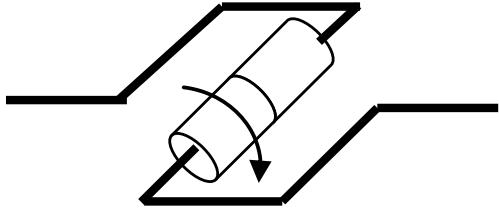
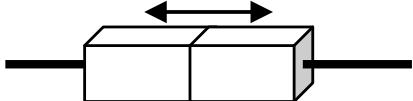
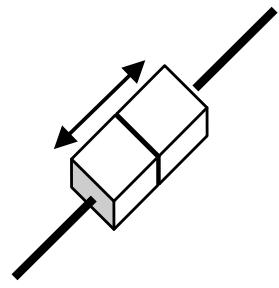
$$CA = 6 - GLA$$

#### OBSEVATII:

- Clasa unei articulații exprimă numărul parametrilor de mișcare restricționați din cei 6 maxim posibili (3R, 3T)
- Roboții industriali existenți în prezent utilizează aproape în exclusivitate articulații cu un singur grad de libertate, deci articulații de clasă CA=1, fie de tip translație, fie de tip rotație
  - Explicația constă desigur în simplificarea considerabilă a construcție mecanice prin amplasarea unei singure acționări

### 3.1 Lanțuri cinematice

Simbolurile grafice folosite pentru articulațiile robotice pot fi diferite, funcție de standardele utilizate. O posibilitate de reprezentare suficient de intuitivă este următoarea:

Simboluri pentru articulațiile roboților		
	Axă orizontală de acțiune	Axă normală (perpendiculară) de acțiune
Articulație de tip rotație  R		
Articulație de tip translație  T		

### 3.1 Lanțuri cinematice

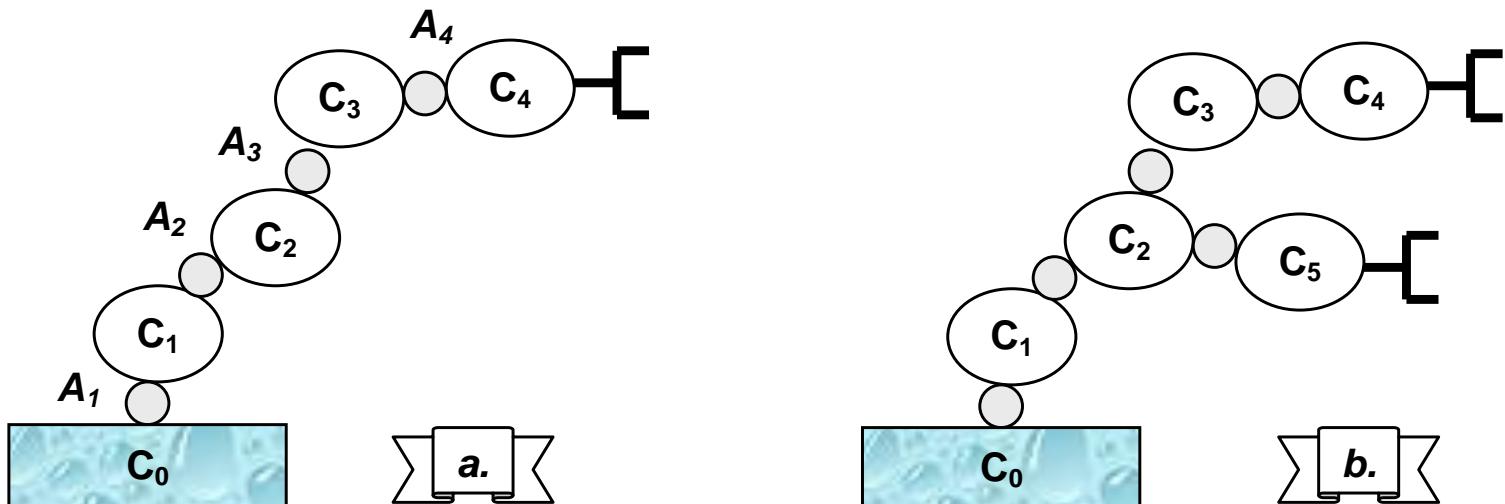
---

- Pentru construcția brațelor roboților industriali se folosesc lanțuri cinematice
- Acestea pot fi:
  - Lanțuri cinematice **deschise**
    - Simple
    - Arborescente
  - Lanțuri cinematice **închise**

## 3.1 Lanțuri cinematice

### Lanțurile cinematice deschise

- Constanță într-o succesiune de corpuri  $C_i$  cuplate între ele prin articulații  $A_i$
- Baza este corpul  $C_0$ , fix pentru marea majoritate a roboților industriali; la **roboții mobili**, corpul  $C_0$  asigură *funcția de motricitate* în scena de operare (permășind astfel deplasarea întregii structuri robotice)
- Fig. (a): *Lanț cinematic deschis simplu*, specific multor variante constructive care utilizează un singur terminal robot,
- Fig. (b): *Lanț cinematic deschis arborescent*, folosit de roboții dotați cu mai multe terminale (se elimină timpii necesari schimbării repetate a terminalului robot)

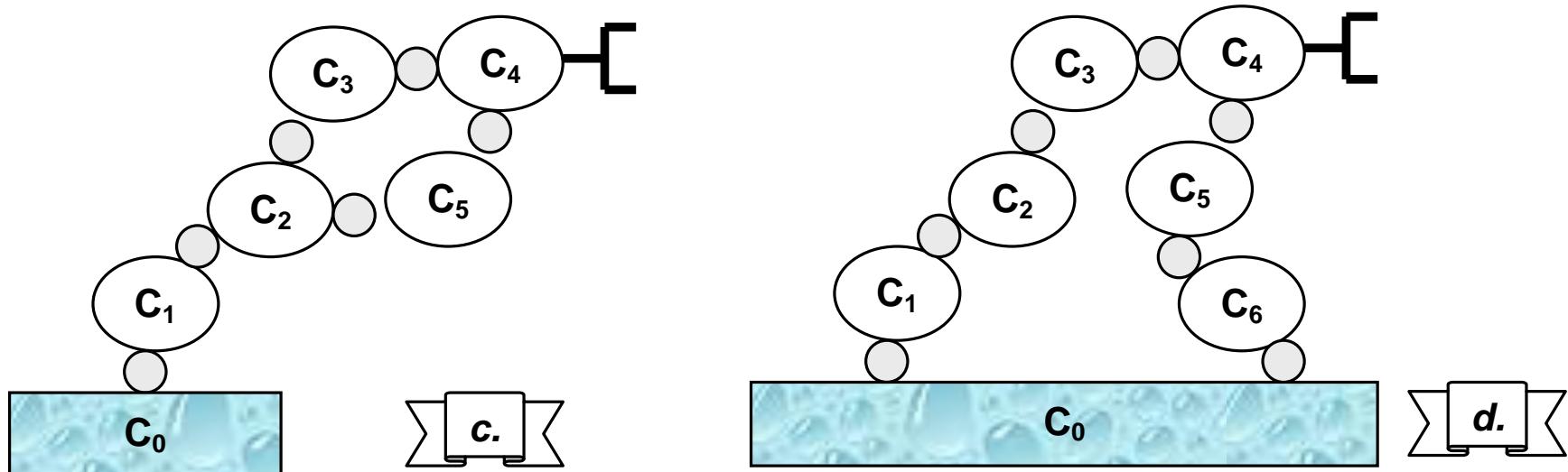


## 3.1 Lanțuri cinematice

### Lanțurile cinematice închise

Pot fi utilizate în mai multe scopuri:

- Pentru a **introduce anumite reacții mecanice** în structura robotului (Fig. c), ca de exemplu mecanismele de transmisia mișării bazate pe paralelograme articulate deformabile
- Pentru a **asigura o mai mare stabilitate a întregii structuri mecanice** (Fig. d), în cazul roboților care manipulează sarcini mari și foarte mari.



### 3.1 Lanțuri cinematice

- Prin ***numărul gradelor de libertate robot (GLR)*** se înțelege numărul parametrilor independenți care definesc poziția și orientarea terminalului robot în raport cu un sistem de referință absolut (de regulă asociat bazei robotului)
- Se numește ***indice de mobilitate al unui robot (IMR)***, numărul dat de relația:

$$IMR = 6 \times N_A - \sum_{CA=1}^5 (CA \times N_{CA})$$

unde notațiile folosite reprezintă:

- $N_A$  numărul total de articulații ale robotului
- $CA$  clasa articulației
- $N_{CA}$  numărul total de articulații ale robotului din clasa  $CA$

### 3.1 Lanțuri cinematice

---

#### **OBSERVATII:**

- Indicele de mobilitate al unui robot definește de fapt **numărul parametrilor de mișcare care pot fi comandați prin acționările robotului**
- Numărul gradelor de libertate ale unui robot este mai mic sau cel mult egal cu indicele său de mobilitate, conform relației:

$$GLR \leq IMR$$

- Din analiza inegalității rezultă două cazuri:
  - **Lanțul cinematic al robotului este *neredundant*** și nu mai poate fi simplificat:
  - **Lanțul cinematic al robotului este *redundant***, deci teoretic mai poate fi simplificat (două sau mai multe articulații pot fi înlocuite cu una singură echivalentă, fără a afecta controlul poziției și orientării terminalului)

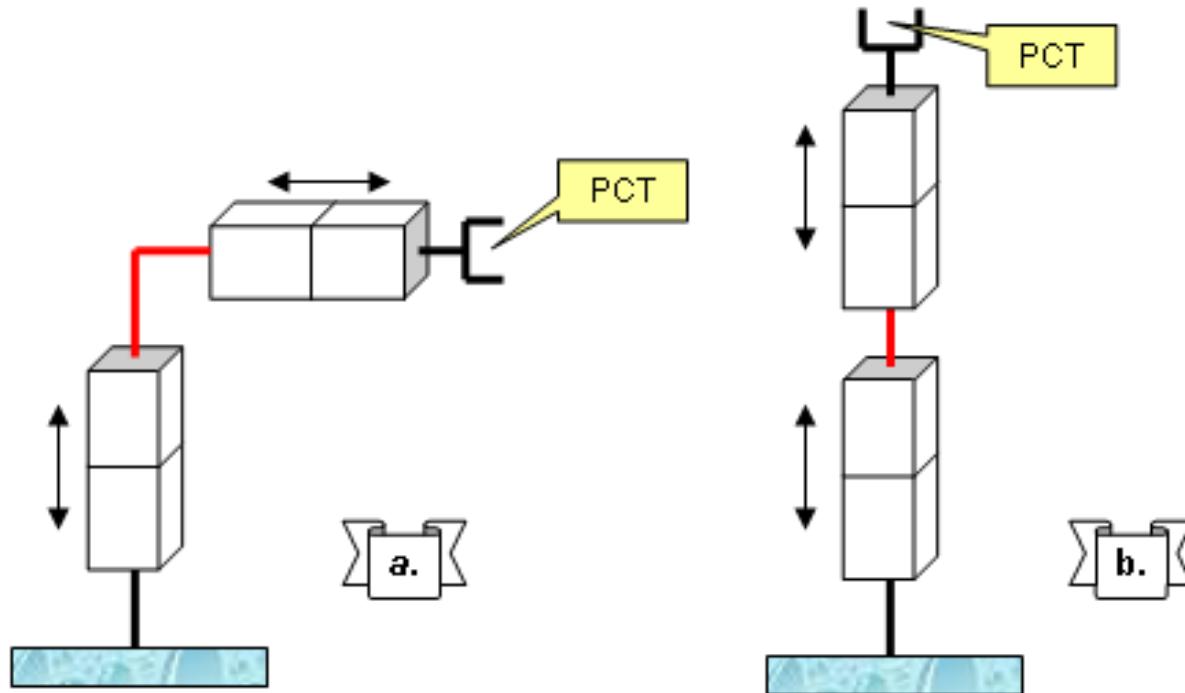
$$GLR < IMR$$

## 3.1 Lanțuri cinematice

### EXEMPLUL 1:

Să analizăm cele două lanțuri cinematice ale roboților din figură

- Ambele folosesc două articulații de tip translație
- Singura diferență dintre ele constă în **forma corpului de legătură** cuprins între cele două articulații (bară în cot drept în Fig. a și bară dreaptă în Fig. b).

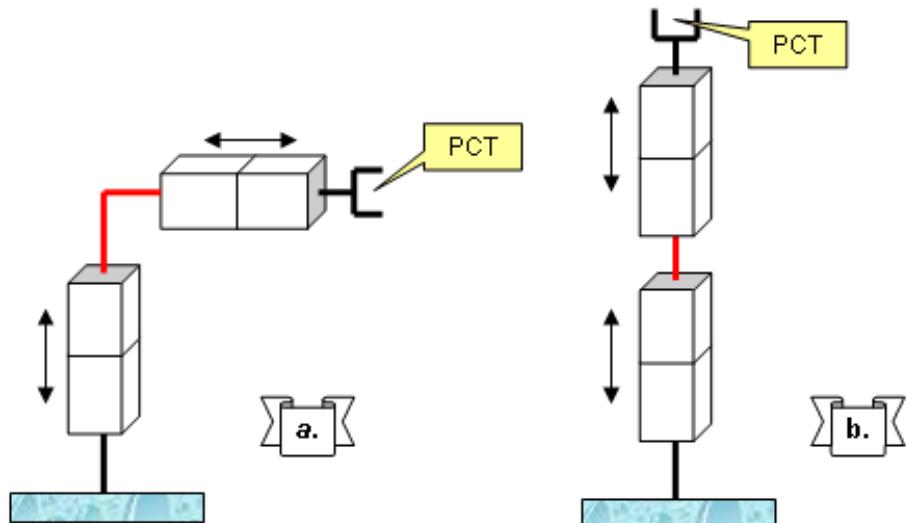


### 3.1 Lanțuri cinematice

#### EXEMPLUL 1 (continuare):

Compararea lanțurilor cinematice ale roboților

	Robotul (a)	Robotul (b)
Numărul gradelor de libertate ale articulațiilor de rotație folosite	$GLA = 1$	$GLA = 1$
Clasa fiecărei articulații de tip rotație	$CA = 5$	$CA = 5$
Numărul gradelor de libertate ale robotului	$GLR = 2$	$GLR = 1$
Indicele de mobilitate al robotului	$IMR = (6 \times 2) - (5 \times 2) = 2$	$IMR = (6 \times 2) - (5 \times 2) = 2$
<i>Rezultatul analizei lanțurilor cinematice ale celor doi roboți</i>	$GLR = IMR$ <b>Robot neredundant</b>	$GLR < IMR$ <b>Robot redundant</b>



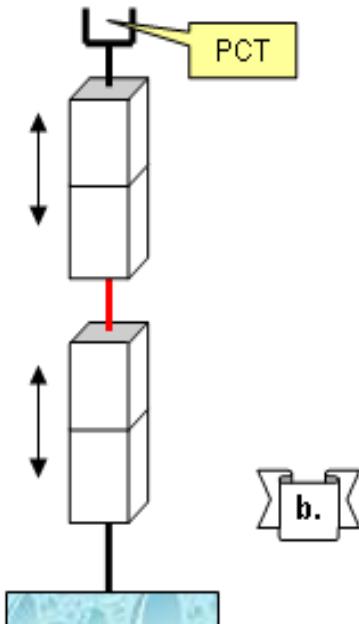
#### OBS:

- PCT robot (a) poate fi deplasat de lanțul său cinematic pe o suprafață plană, deci  $GLR = 2$
- PCT robot (b) nu poate părăsi o linie dreaptă, deci  $GLR = 1$

## 3.1 Lanțuri cinematice

### EXEMPLUL 1 (continuare):

- Structura cinematică a robotului (b) este redondantă pentru că cele două couple de translație pot fi înlocuite teoretic cu una singură, fără modificarea numărul gradelor de libertate ale robotului
- Uneori “premeditat” se folosesc lanțuri cinematice redondante:



Reluând cazul din (b):

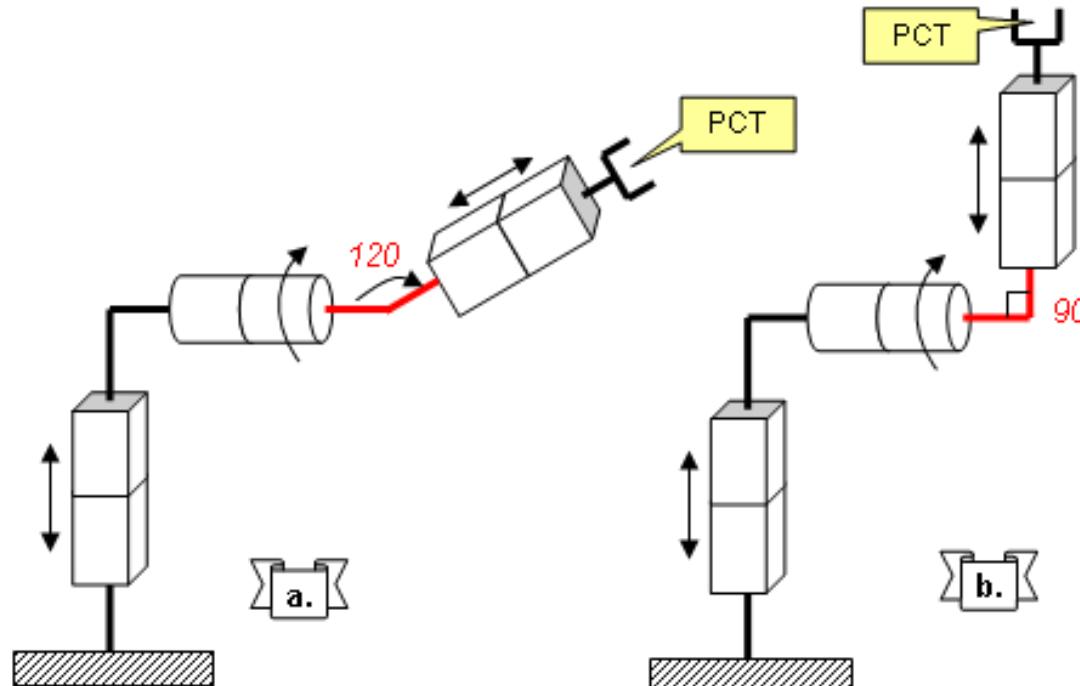
- Cupla cinematică de la bază este folosită pentru **poziționarea grosieră a PCT** în proximitatea poziționării finale (acționarea sa va trebui să dezvolte un cuplu suficient de mare pentru a deplasa aproape întreaga greutate a brațului robot precum și greutatea sarcinii atașate la terminal)
- Următoare cuplă cinematică va asigura numai **poziționarea fină a PCT** (întrucât acționarea sa trebuie să dezvolte un cuplu mai mic, necesar numai compensării greutății sarcinii manipulate atașată la terminal, ceea ce avantajează precizia în poziționare)

### 3.1 Lanțuri cinematice

#### EXEMPLUL 2:

Să analizăm cele două lanțuri cinematice ale roboților din figură

- Se folosesc exact același tip de articulații înlanțuite, în structura TRT
- Diferența: forma corpului rigid dintre articulațiile 2 și 3, bară îndoită cu un unghi de  $120^0$  la robotul din Fig. (a) și respectiv bară îndoită cu un unghi de  $90^0$  la robotul din Fig. (b).

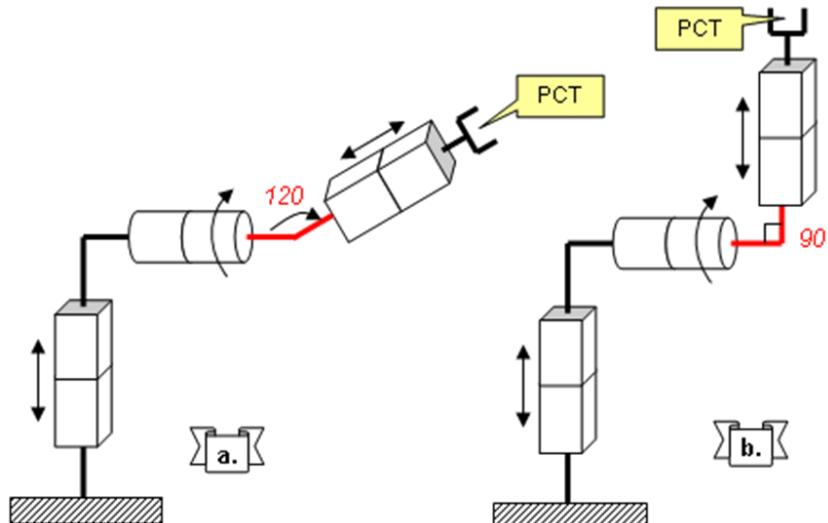


### 3.1 Lanțuri cinematice

#### EXEMPLUL 2 (continuare):

Compararea lanțurilor cinematice ale robotilor

	Robotul (a)	Robotul (b)
Numărul gradelor de libertate ale fiecărei articulații folosite	GLA = 1	GLA = 1
Clasa fiecărei articulații	CA = 5	CA = 5
Numărul gradelor de libertate ale robotului	GLR = 3	GLR = 2
Indicele de mobilitate al robotului	$IMR = (6 \times 3) - (5 \times 3) = 3$	$IMR = (6 \times 3) - (5 \times 3) = 3$
<i>Rezultatul analizei lanțurilor cinematice ale celor doi roboți</i>	GLR = IMR <b>Robot neredondant</b>	GLR < IMR <b>Robot redondant</b>



#### OBS:

- PCT robot (a) poate fi deplasat de lanțul său cinematic în spațiu 3D, deci GLR = 3
- PCT robot (b) nu poate părași o suprafață plană bidimensională 2D, deci GLR = 2

### 3.1 Lanțuri cinematice

---

- Prin **numărul gradelor de libertate al unei operații (GLO)** se înțelege numărul parametrilor de mișcare independenți necesari pentru a realiza operația respectivă.

Comparând GLR (numărul gradelor de libertate ale unui robot) cu GLO (numărul gradelor de libertate necesar unei operații) se poate evalua dacă **robotul analizat poate fi utilizat sau nu** pentru a realiza operația tehnologică respectivă:

- **GLR  $\geq$  GLO:** robotul **este compatibil cu operația** (adică lanțul său cinematic poate asigura necesarul parametrilor de mișcare independenți necesari operației)
- **GLR  $<$  GLO:** robotul **nu este compatibil cu operația** (adică robotul nu poate realiza aplicația dorită, deci este necesar un alt tip de robot)

## 3.1 Lanțuri cinematice

---

### **EXEMPLUL 3:**

Aplicație de vopsire panou, în care pistolul de vopsire execută numai un ciclu de mișcări rectangulare plane, nepărăsind o suprafață orizontală.

**Rezultă că GLO = 2.**

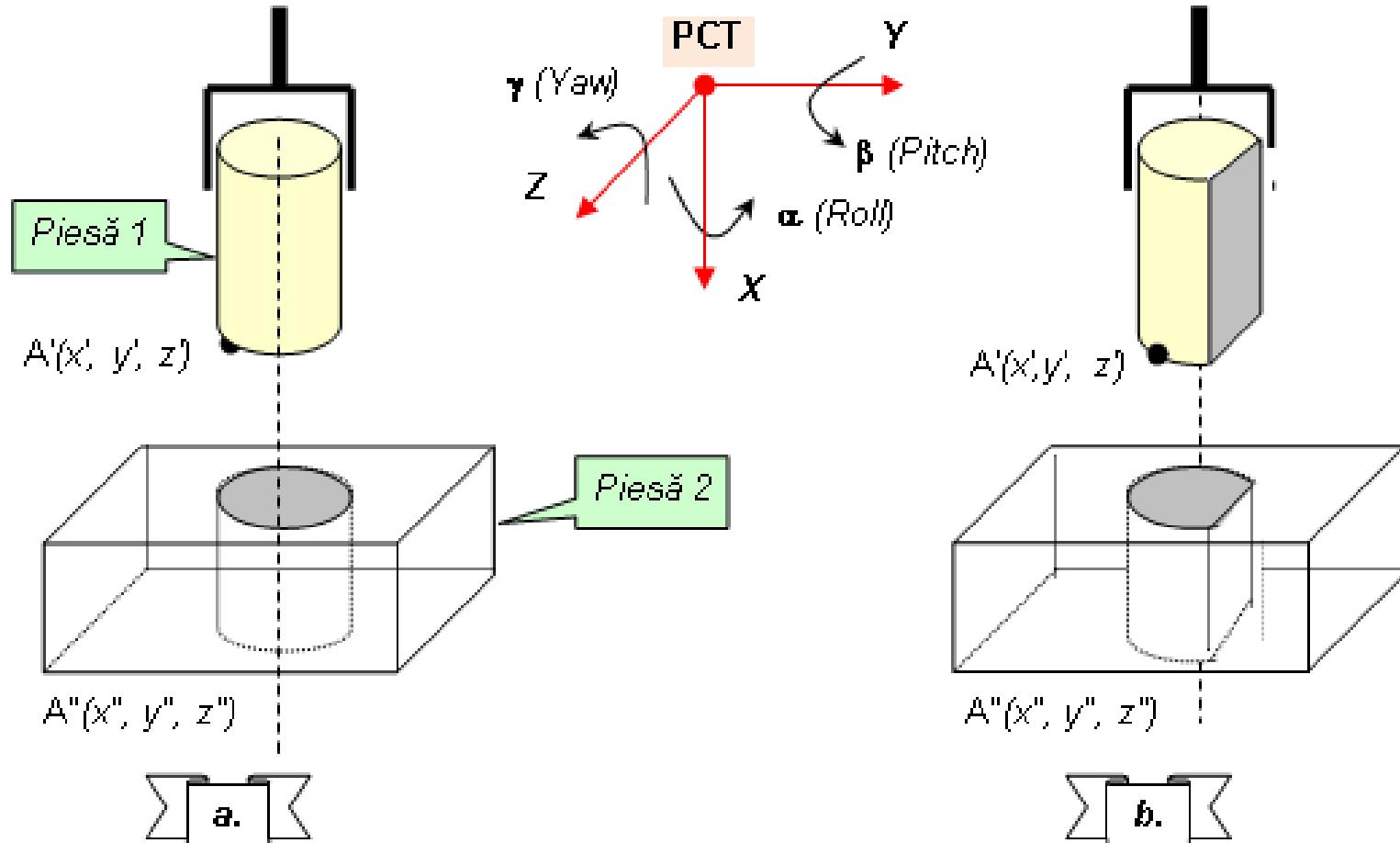
Evaluăm cei 4 roboți analizați comparativ în exemplele precedente pentru a vedea care poate fi folosit:

- Ex. 1.b (GLR = 1): **Robot nu poate fi folosit**
- Ex. 1.a și Ex. 2.b (GLR = GLO = 2): **Roboții pot fi folosiți**
- Ex. 2.a (GLR = 3) > (GLO = 2): **Robotul poate fi folosit**
  - **Teoretic:** un grad de libertate al robotului nu este necesar în aplicație și nu se va folosi
  - **Practic:** există premize avantajoase pentru dezvoltarea aplicației

## 3.1 Lanțuri cinematice

### EXEMPLUL 4:

Aplicație de asamblare a piesei  $P_1$  în interiorul piesei  $P_2$

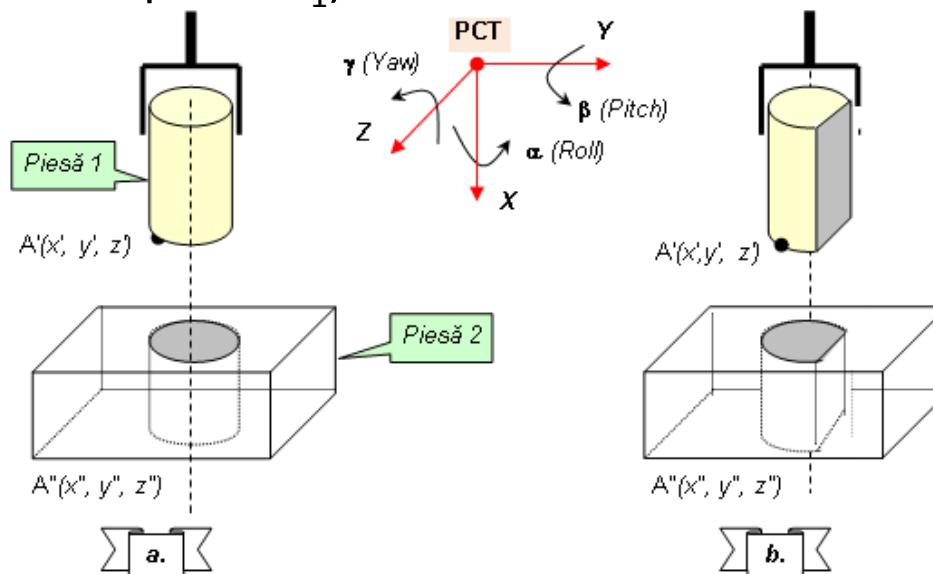


### 3.1 Lanțuri cinematice

#### **EXEMPLUL 4** (continuare):

Prințipial, aplicația se încheie o dată cu realizarea coincidenței în spațiu între cele două puncte,  $A' \in P_1$  și respectiv  $A'' \in P_2$ , adică coincidența tuturor coordonatelor carteziene  $A'(x', y', z') \equiv A''(x'', y'', z'')$

- **Dacă piesa  $P_2$  nu ar fi prezentă:** e suficient ca robotul să manipuleze piesa  $P_1$  până când se realizează coincidența coordonatelor celor două puncte
- **Prezența piesei  $P_2$  introduce însă restricții suplimentare** pentru mișările robotului (implicit ale piesei  $P_1$ )



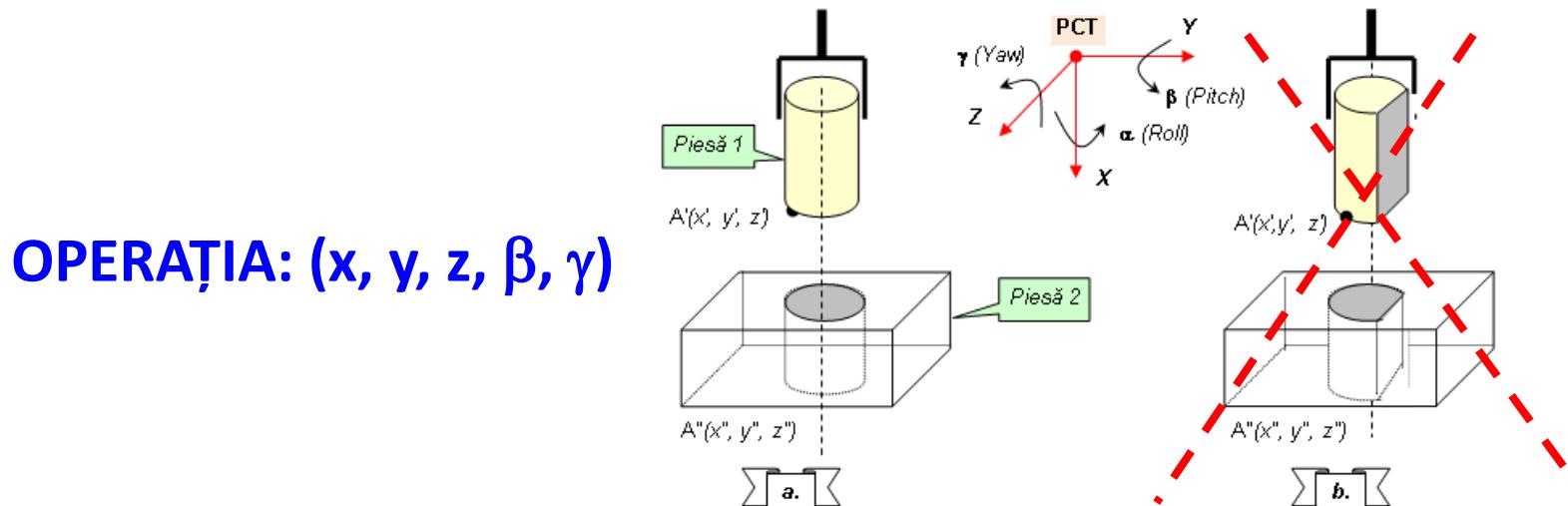
### 3.1 Lanțuri cinematice

#### **EXEMPLUL 4** (continuare):

Din comparația celor 2 cazuri se pot trage următoarele concluzii:

**Pentru aplicația din Fig. (a):**

- Realizarea asamblării presupune atât controlul celor trei parametrii de poziție ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) cât și a doi parametrii de orientare, denumiți ***Pitch*** și ***Yaw***, respectiv unghiurile ( $\beta$ ,  $\gamma$ ) care asigură suprapunerea axei centrale a piesei  $P_1$  peste axa decupării interioare a piesei  $P_2$ .
- Rezultă **5 parametrii de mișcare care trebuie controlați de către robot**, dintre care **3 sunt de tip poziție și 2 sunt de tip orientare**, ceea ce simbolic putem scrie:



**OPERAȚIA:  $(x, y, z, \beta, \gamma)$**

### 3.1 Lanțuri cinematice

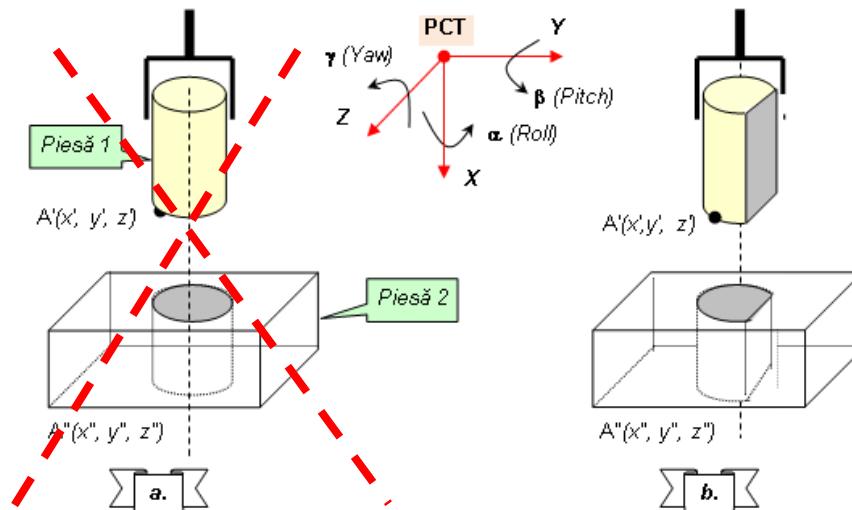
#### **EXEMPLUL 4** (continuare):

Din comparația celor 2 cazuri se pot trage următoarele concluzii:

#### **Pentru aplicația din Fig. (b):**

- Realizarea asamblării presupune **în plus față de cazul anterior** și controlul celui de-al treilea parametru de orientare ***Roll***, respectiv unghiul ( $\alpha$ ), fără de care asamblarea nu este posibilă.
- Rezultă **6 parametrii de mișcare care trebuie controlați de către robot**, dintre care **3 sunt pentru poziție și 3 sunt pentru orientare (situată cea mai complexă de localizare pe care trebuie să o asigure lanțul cinematic al unui robot)** ceea ce simbolic putem scrie:

**OPERAȚIA:  $(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)$**

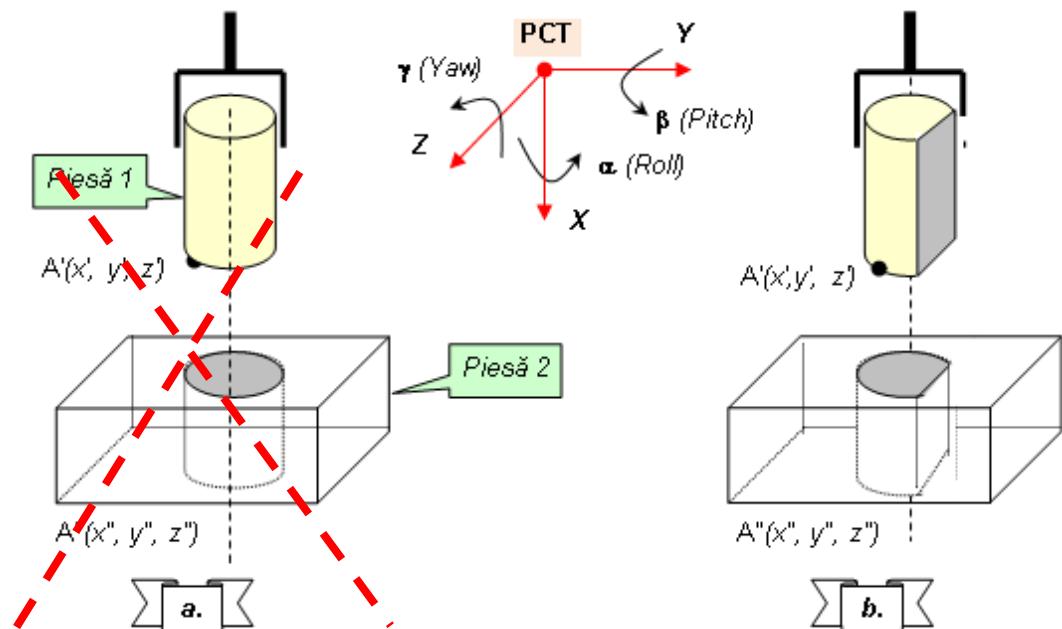


### 3.1 Lanțuri cinematice

#### OBSERVATII:

- Reamintim faptul că numim **localizare PCT** ansamblul format din **poziția PCT** și **orientarea PCT** la un moment de timp.
- Analiza cazului cel mai general al asamblării din Fig. (b) a aratat că **localizarea PCT în spațiu are asociați maxim 6 parametrii**. Evident, acest număr este identic cu cel al numărului gradelor de libertate al corpului complet liber în spațiu

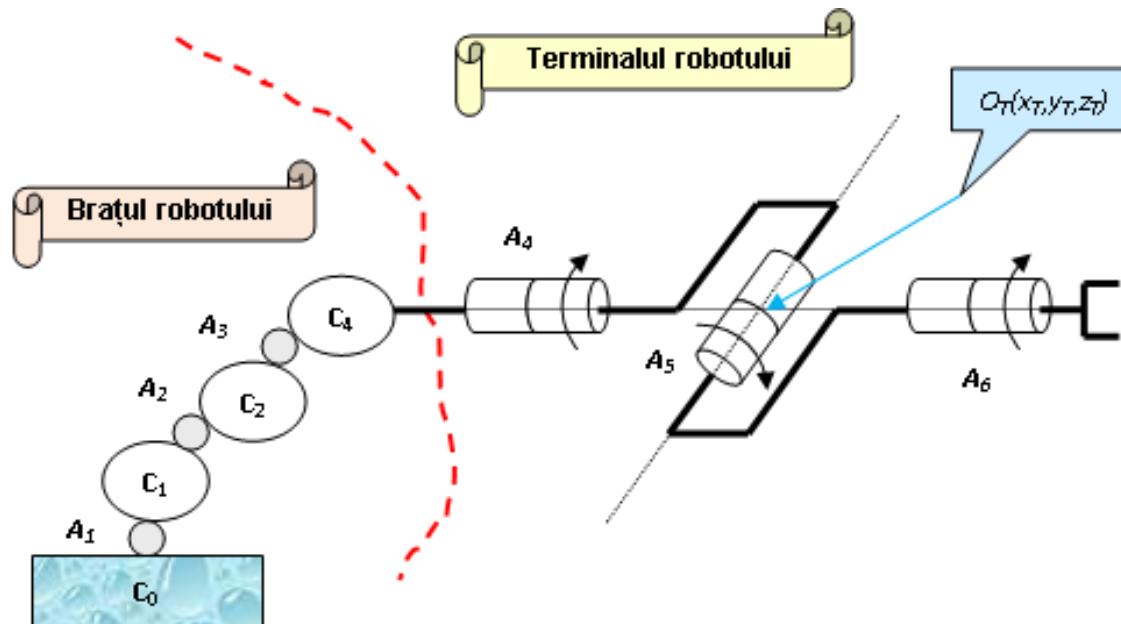
OPERAȚIA:  $(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)$



### 3.1 Lanțuri cinematice

- Un robot are **terminalul complet decuplat** dacă brațul său este astfel construit încât:
  - Primele 3 articulații din lanțul său cinematic realizează numai controlul parametrilor de poziționare ai PCT
  - Următoarele 3 articulații realizează numai controlul parametrilor de orientare ai PCT

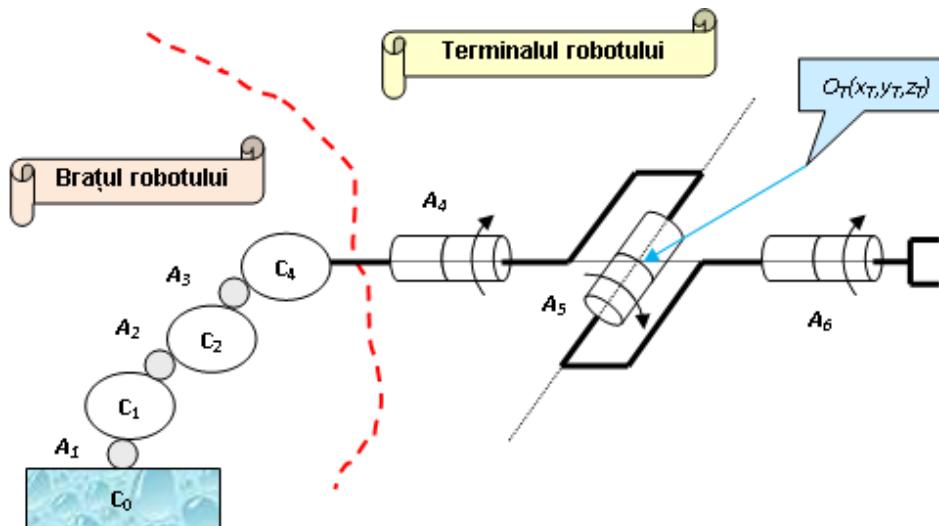
Structură generală de robot cu terminalul complet decuplat este:



### 3.1 Lanțuri cinematice

#### OBSERVATII:

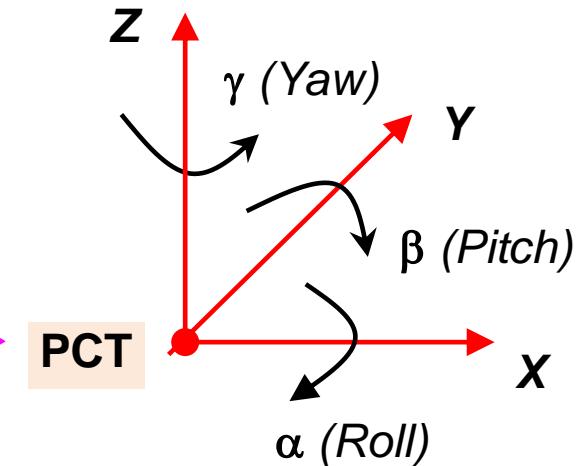
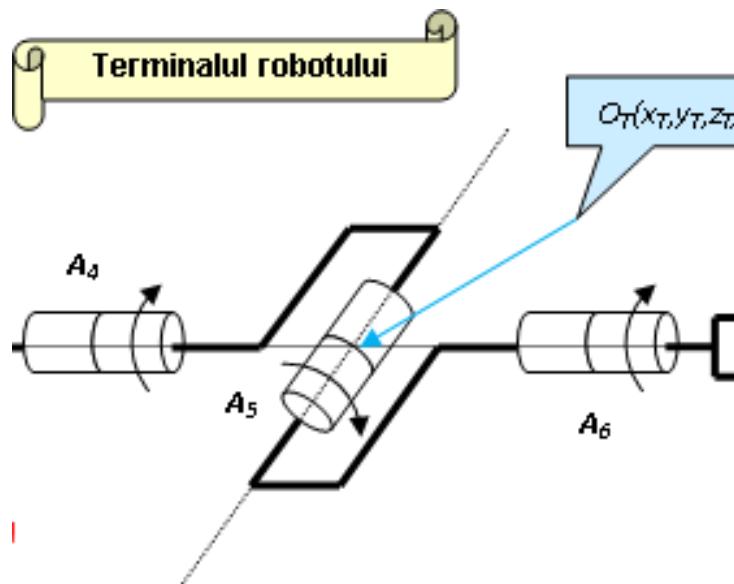
- Caracteristica cinematică a terminalului complet decuplat:
  - În funcționare, axele tuturor articulațiilor  $A_4, A_5, A_6$  rămân permanent concurente în punctul  $O_T$
- Roboții cu terminal complet decuplat prezintă multiple avantaje pentru instruire și implementarea legilor de conducere, întrucât:
  - Poziția punctului  $O_T$  este controlată exclusiv prin articulațiile  $A_1, A_2, A_3$
  - Orientarea punctului  $O_T$  este controlată prin articulațiile  $A_4, A_5, A_6$ .



## 3.1 Lanțuri cinematice

### OBSERVAȚII:

- Nu toți roboții au o structură cu terminal complet decuplat (cu toate cele 3 articulații  $A_4$ ,  $A_5$ ,  $A_6$ ), deci **au un terminal incomplet decuplat**:
  - Din structura terminalului lipsește adeseori mișcarea de orientare ***Yaw*** ( $A_4$ ), fiind prezente numai ***Pitch*** ( $A_5$ ) și ***Roll*** ( $A_6$ )
  - Alteori lipsește și mișcarea ***Pitch***
  - Există și structuri robotice care nu au nici mișcarea de ***Roll***, ele nefiind capabile să controleze niciunul dintre parametrii de orientare ai terminalului



### 3.1 Lanțuri cinematice

#### OBSERVATII:

- Lipsa unora dintre parametrii de control ai orientării terminalului:
  - Reduce prețul robotului, dar **acesta nu va fi capabil să execute orice fel de operație tehnologică**
  - Trebuie compensată prin:
    - **proiectarea judicioasă a aplicației sau**
    - introducerea în aplicație a unor **echipamente cu GDL suplimentare (poziționere)**

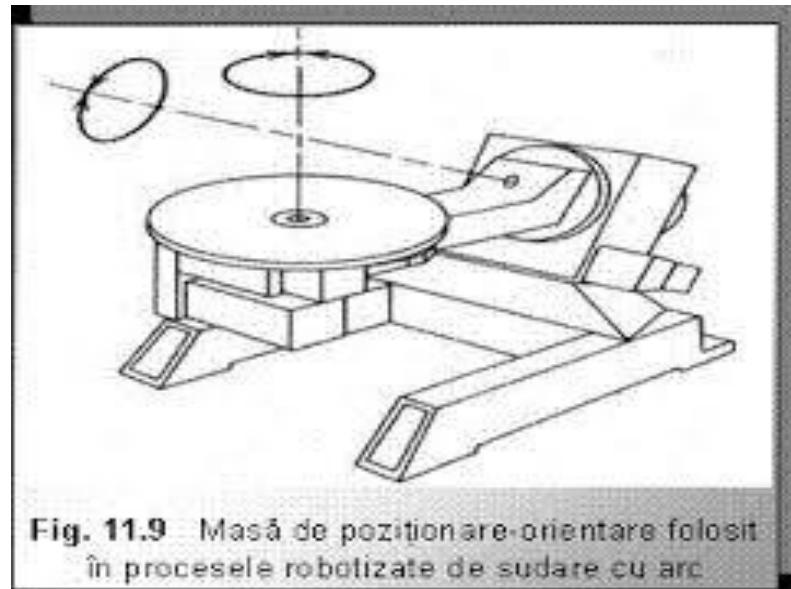
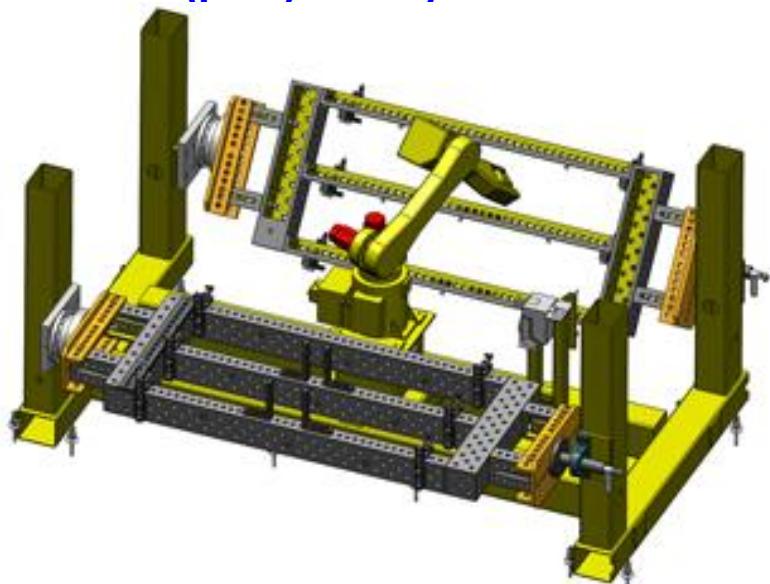


Fig. 11.9 Masă de poziționare-orientare folosit în procesele robotizate de sudare cu arc

## Capitolul 3. Modele geometrice și cinematice ale robotilor

3.1 Lanțuri cinematice

3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot industrial

3.3 Modele geometrice directee

3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

3.5 Metoda Denavit – Hartenberg

3.6 Modele cinematice. Studii de caz

3.6.1 Robotul cartezian fără terminal complet decuplat

3.6.2 Robotul cilindric cu terminal complet decuplat

3.6.3 Robotul sferic (polar) cu terminal complet decuplat

3.6.4 Robotul antropomorf (vertical articulat) cu terminal complet decuplat

## 3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot

---

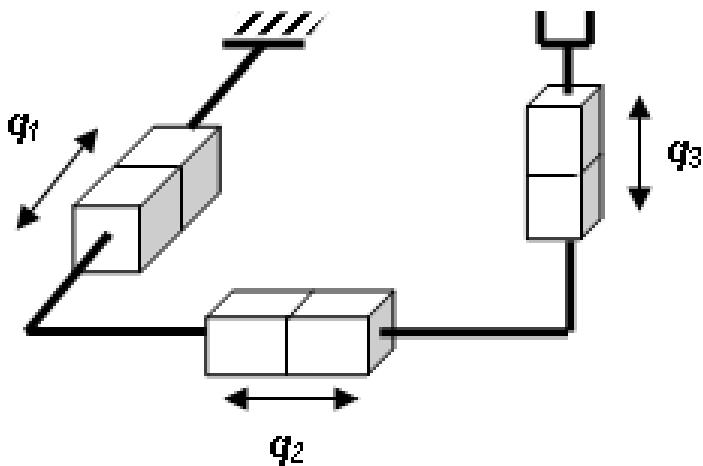
- Prin **spațiul de operare al unui robot** (numit uneori și **volum de operare**, sau **volumul util**) se înțelege o porțiune delimitată din spațiul 3D situat în proximitatea robotului unde acesta își poate localiza PCT-ul, luând în considerație toate configurațiile posibile ale lanțului său cinematic

### **OBSERVATII:**

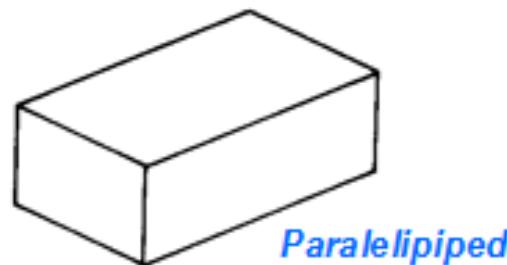
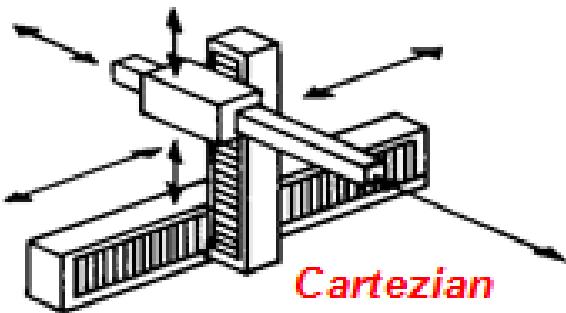
- Forma și dimensiunile spațiului de operare sunt foarte importante pentru dezvoltarea aplicațiilor
- Forma spațiului de operare este direct influențată de lanțul cinematic adoptat pentru brațul robotului
- **Principalele configurații cinematice folosite sunt:**
  1. **Configurația TTT - Robot cartezian**
  2. **Configurația RTT - Robot cilindric**
  3. **Configurația RRT - Robot polar (sferic)**
  4. **Configurația RRR - Robot orizontal articulat (antropomorf)**
  5. **Configurația RRT - Robot vertical articulat (de tip SCARA)**
  6. **Configurația RRT - Robot paralel (pendular)**
  7. **Alte configurații – Ex Robot multiplu articulat (trompă de elefant)**

## 3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot

### 1. Configurația TTT - Robot cartesian

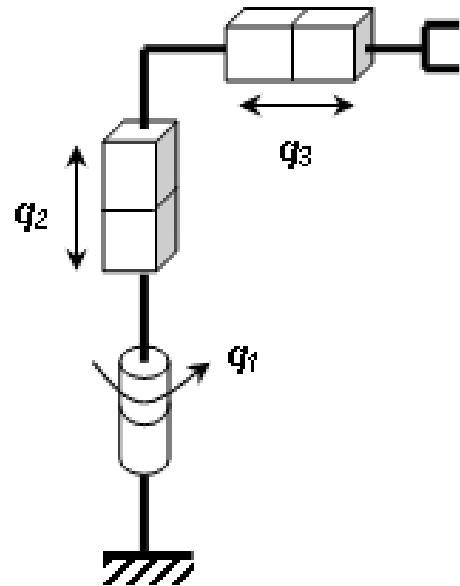


- **Lanțul cinematic (serial):** 3 T dispuse de-a lungul axelor unui triedru de referință rectangular (triedru Frenet)
- **Controlul poziționării:** 3 parametrii de tip distanță, de unde și denumirea de **robot cartesian**
- **Forma spațiului de operare:** prismă dreaptă
- **Grad de răspândire:** cca. 14%

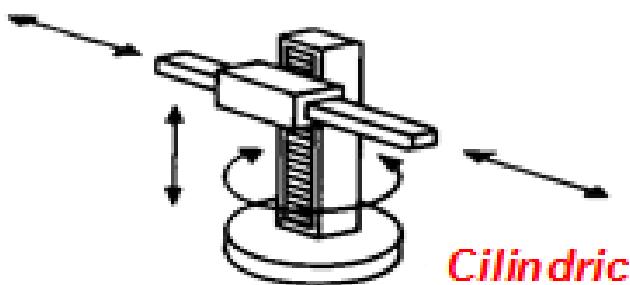


## 3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot

### 2. Configurația RTT - Robot cilindric

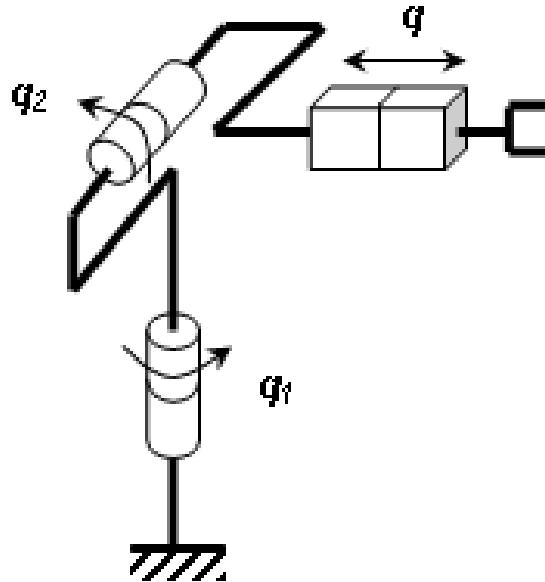


- **Lanțul cinematic (serial):** 1 R + 2 T
- **Controlul poziționării:** un unghi și două distanțe, de unde și denumirea de **robot cilindric**
- **Forma spațiului de operare:** porțiune dintr-un cilindru, cu limitări dictate de articulații
- **Grad de răspândire:** cca. 47%

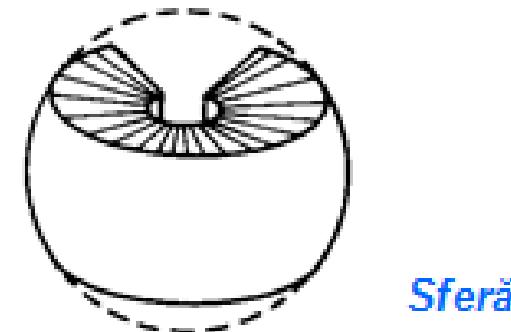
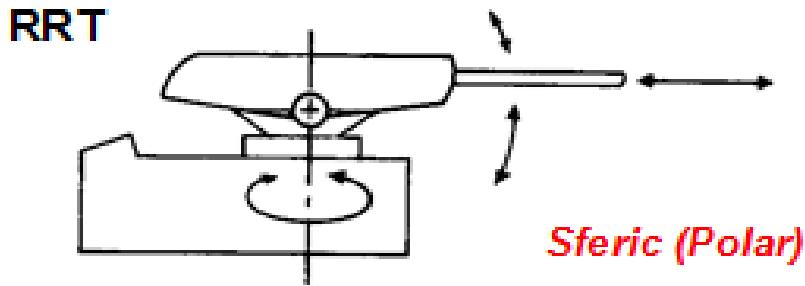


## 3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot

### 3. Configurația RRT - Robot polar (sferic)

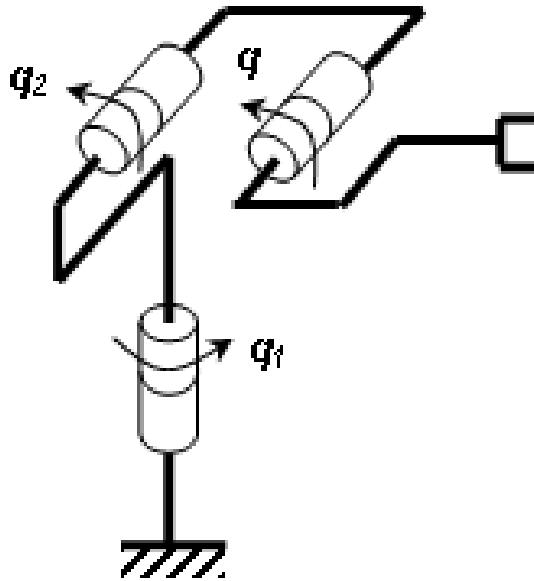


- **Lanțul cinematic (serial):** 2 R + 1 T
- **Controlul poziționării:** două unghiuri și o unei distanță, de unde și denumirea de **robot sferic (sau polar)**
- **Forma spațiului de operare:** portiune dintr-o sferă, cu limitări dictate de articulații
- **Grad de răspândire:** cca. 13%

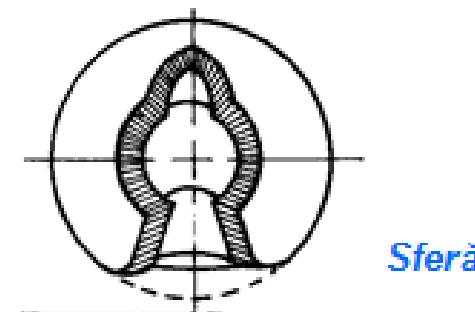
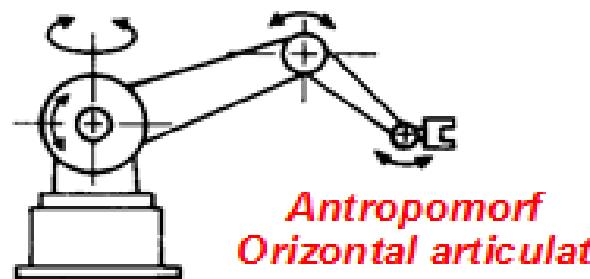


## 3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot

### 4. Configurația RRR - Robot orizontal articulat (antropomorf)

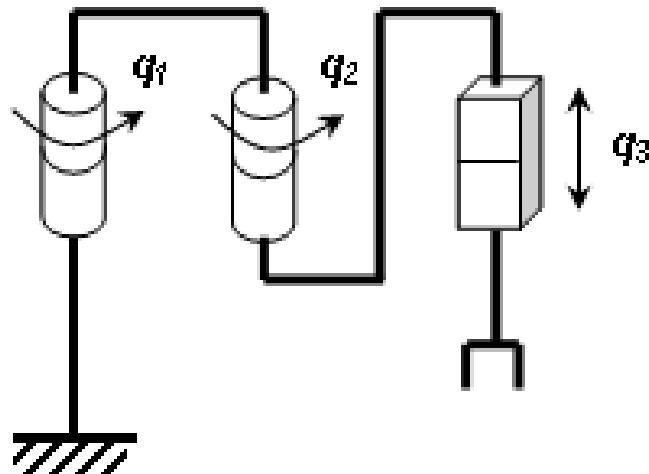


- **Lanțul cinematic (serial):** 3 R (prima cu axă verticală, următoarele două cu axe orizontale și paralele)
- **Controlul poziționării:** trei unghiuri
- **Denumire:** *robot antropomorf* (prin analogie cu brațul uman) sau *robot orizontal articulat* (datorită preponderenței articulațiilor de rotație cu axe orizontale)
- **Forma spațiului de operare:** porțiune dintr-o sferă, cu limitări dictate de articulații
- **Grad de răspândire:** cca. 25%

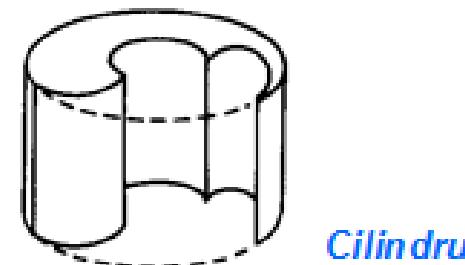
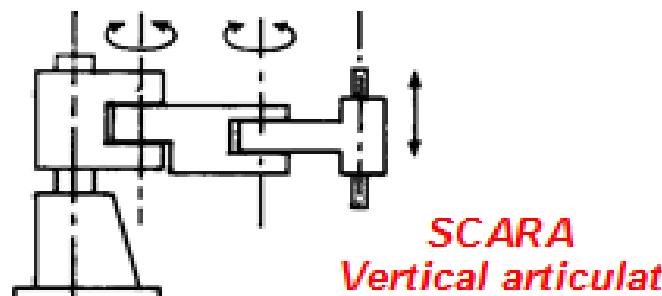


## 3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot

### 5. Configurația RRT - Robot vertical articulat (de tip SCARA)



- **Lanțul cinematic (serial):** 2 R + 1 T (toate cu axele verticale și paralele)
- **Controlul poziționării:** două unghiuri și o distanță
- **Denumire:** *robot SCARA* (de la numele primului producător) sau *robot vertical articulat* (datorită disponerii tuturor axelor articulațiilor)
- **Forma spațiului de operare:** alungită, încadrabilă într-un cilindru, cu limitări dictate de articulații
- **Grad de răspândire:** cca. 5%

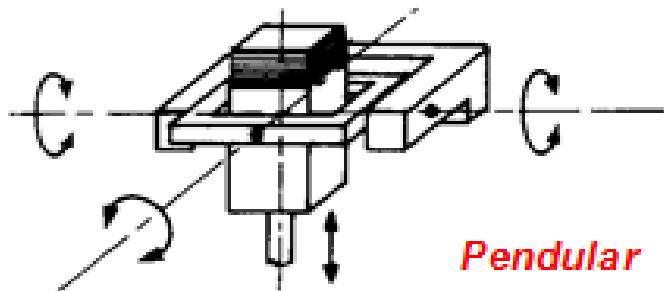


## 3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot

### 6. Configurația RRT - Robot paralel (pendular)

?

TEMA

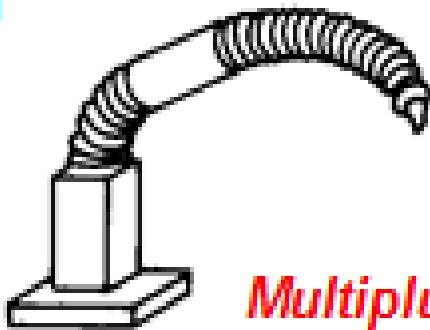


- **Lanțul cinematic (serial):** 2 R + 1 T (toate axele sunt permanent concurente într-un punct)
- **Controlul poziționării:** două unghiuri și o distanță
- **Denumire:** *robot paralel* sau *robot pendular* (datorită formei spațiului de operare)
- **Forma spațiului de operare:** calotă sferică, cu limitări dictate de articulații
- **Grad de răspândire:** cca. 5%

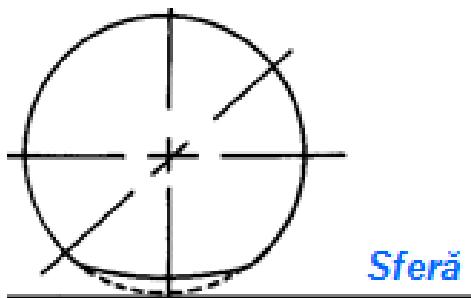


## 3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot

### 7. Alte configurații – Ex. robot multiplu articulat



**Multiplu articulat**



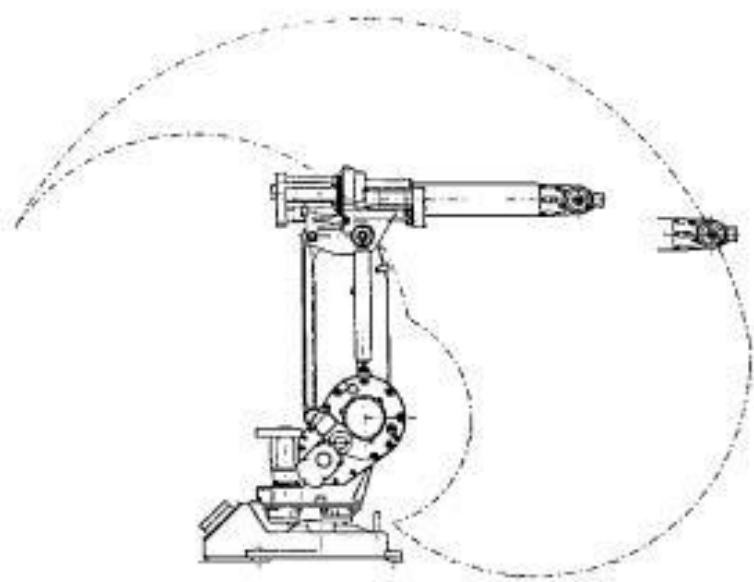
**Sferă**

- **Lanțul cinematic:** multiple articulații de rotație
- **Controlul poziționării:** unghiuri
- **Denumire:** *robot multiplu articulat* sau *robot trompă de elefant* (datorită aspectului și funcționalității)
- **Forma spațiului de operare:** calotă sferică, cu limitări dictate de articulații
- **Grad de răspândire:** foarte rar

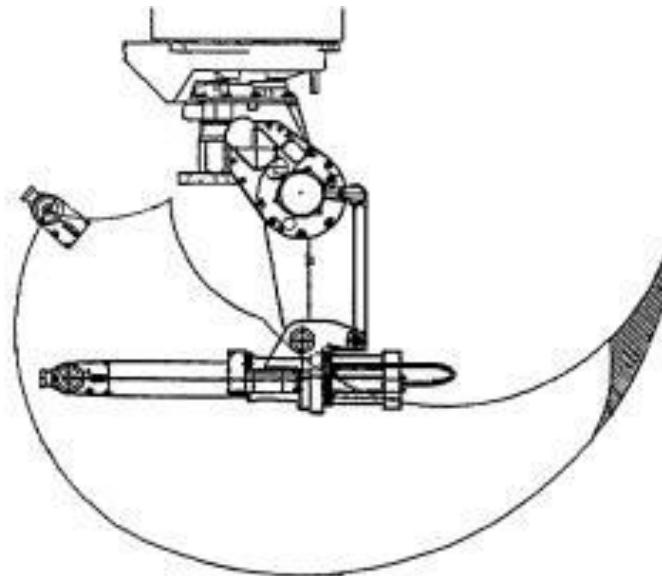
## 3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot

### OBSERVATII:

- Toate configurațiile pot fi realizate:
  - **în variantă normală**, cu baza dispusă pe sol
  - **în variantă suspendată (robot portal - gantry robot)**, în care baza robotului este montată pe un plașeu superior ca nivel aplicației realizate



**Fig. a** Configurație normală.



**Fig. b** Configurație suspendată.

## 3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot

### **OBSERVATII (continuare):**

- Volumul spațiului de operare este un criteriu de selecție al tipului de robot pentru o aplicaie (întrucât rezultă mai multe facilități pentru aplasarea fizică a dispozitivelor auxiliare cu care robotul va interacționa)
- Estimarea *volumului spațiului de operare* realizat se poate face plecând de la câteva ipoteze comune de calcul:
  - Toate cuplurile de rotație permit rotații complete de  $360^0$
  - Toate cuplurile de translație permit translații egale, de lungime L
  - Toate corpurile solide din structura brațului au lungimea egală, de valoare L
- **D.a.p.d.v. cele mai bune soluții sunt robotul antropomorf și robotul sferic**

<b>Tipul Robotului</b>	<b>Structură</b>	<b>Volumul estimat al spațiului de operare</b>
Robotul cartezian	TTT	$V \cong L^3$
Robotul cilindric	RTT	$V \cong 9 L^3$
Robotul sferic	RRT	$V \cong 29 L^3$
Robotul antropomorf	RRR	$V \cong 34 L^3$
Robotul SCARA	RRT	$V \cong 13 L^3$

## Capitolul 3. Modele geometrice și cinematice ale robotilor

3.1 Lanțuri cinematice

3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot industrial

**3.3 Modelul geometric direct**

3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

3.5 Metoda Denavit – Hartenberg

3.6 Modele cinematice. Studii de caz

3.6.1 Robotul cartezian fără terminal complet decuplat

3.6.2 Robotul cilindric cu terminal complet decuplat

3.6.3 Robotul sferic (polar) cu terminal complet decuplat

3.6.4 Robotul antropomorf (vertical articulat) cu terminal complet decuplat

### 3.3 Modelul geometric direct

□ Prin **modelul geometric direct al unui robot** se înțelege un sistem de ecuații care definesc poziția și orientarea terminalului robot (de regulă la nivelul punctului său characteristic PCT) în funcție de configurația internă a robotului

➤ Poziția și orientarea terminalului robot sunt definite prin **vectorul coordonatelor operaționale**:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$$

iar multimea acestor vectori definește **spațiul operațional X**:

$$x \in X$$

➤ Configurația internă a robotului este definită prin **vectorul coordonatelor interne generalizate**:

$$q = (q_1, q_2, \dots, q_n)^T$$

iar multimea acestor vectori constituie **spațiul configurațiilor Q**:

$$q \in Q$$

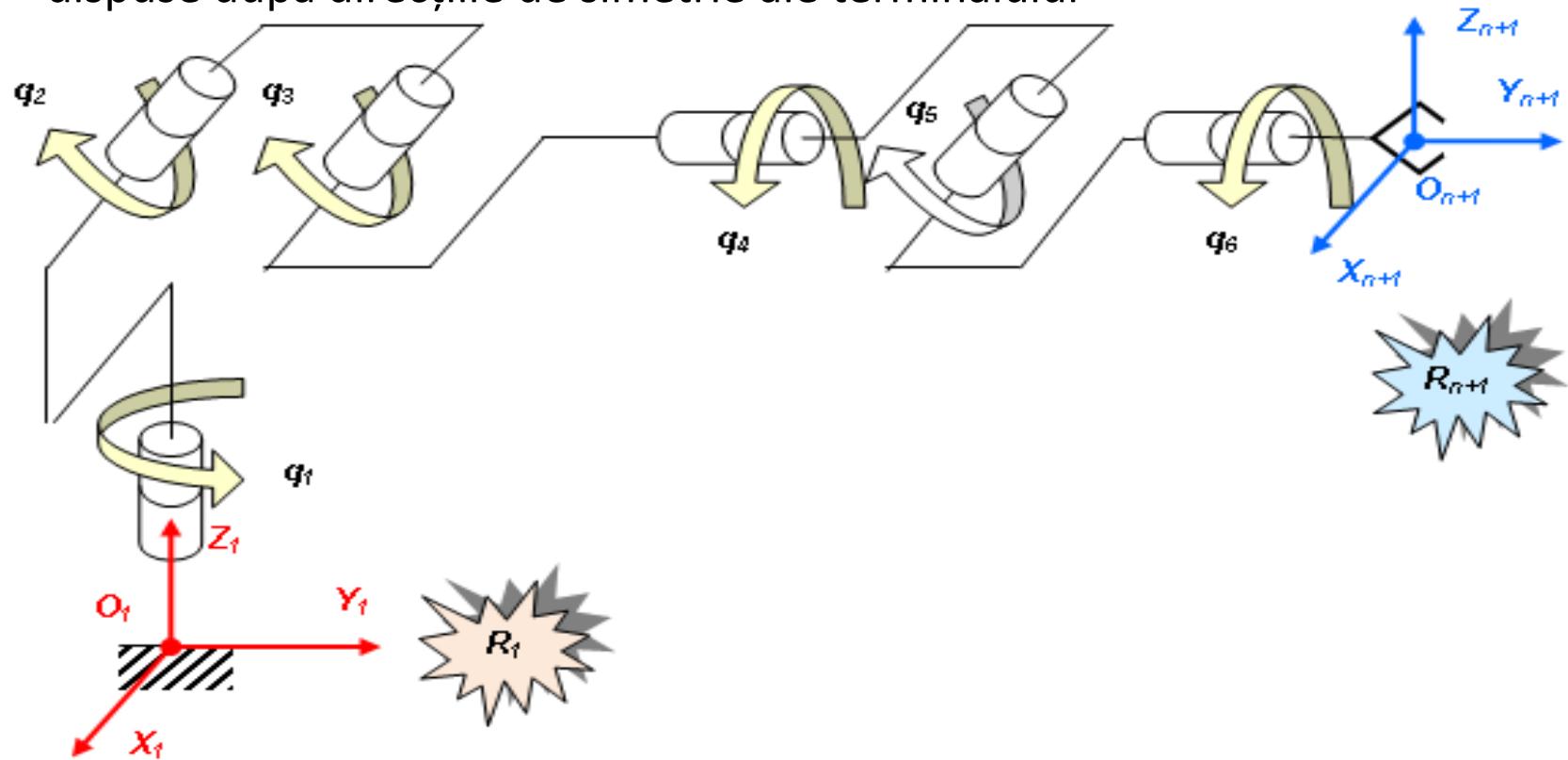
• **Elaborarea modelului geometric direct presupune stabilirea setului de ecuații:**

$$x_i = f_i(q_1, q_2, \dots, q_n) \quad \text{unde } i = 1, 2, \dots, m$$

### 3.3 Modelul geometric direct

Fie robotul orizontal articulat (antropomorf) cu terminal complet decuplat pentru care au fost introduse două sisteme de referință:

- Unul asociat bazei fixe a robotului  $R_1$
- Un altul asociat terminalului robot  $R_{n+1}$ , cu originea  $O_{i+1}$  în PCT și cu axele dispuse după direcțiile de simetrie ale terminalului



### 3.3 Modelul geometric direct

- Se știe că pentru definirea completă a localizării în spațiu a unui corp solid liber (fără nici o legătură) este necesară cunoașterea coordonatelor a 3 puncte **necoliniare din structura sa**, deci **în total 9 parametri**
  - Deoarece între cele 3 puncte pot fi scrise 3 relații care exprimă invariabilitatea distanțelor dintre ele (punctele aparținând unui corp solid), rezultă în final un număr de **6 parametri independenți pentru localizare**
  - Acești 6 parametri pot fi repartizați astfel:
    - **3 parametri independenți care definesc poziția 3D a unui punct aparținând corpului**, exprimarea putându-se realiza în diferite tipuri de coordonate (carteziene, cilindrice, polare, etc.)
    - **3 parametri independenți care definesc orientarea corpului în jurul acestui punct** (unghiurile lui Euler, unghiurile lui Briant, etc.)
- Teoretic deci, în cazul general, **6 coordonate operaționale ( $m = 6$ )**, **3 pentru poziție și 3 pentru orientare**, sunt necesare și suficiente pentru definirea completă a localizării sistemului de referință  $R_{n+1}$  în sistemul  $R_1$ 
  - Numărul poate fi însă mai mic în anumite cazuri particulare. De exemplu:
    - dacă în funcționarea robotului punctul  $O_{n+1}$  rămâne permanent într-un plan paralel cu planul  $(O_1x_1y_1)$  rezultă  $m = 5$
    - dacă se menține permanent paralelismul axelor  $z_1 \parallel z_{n+1}$  rezultă  $m = 4$ .

### 3.3 Modelul geometric direct

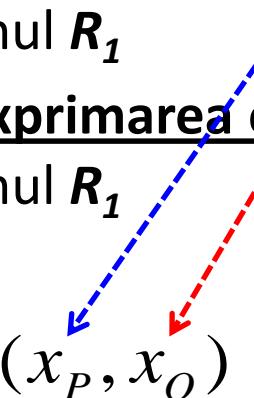
În cazul general, vectorul  $m$ -dimensional al coordonatelor operaționale:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$$

va include deci:

- un număr de componente pentru **exprimarea pozitiei** sistemului de referință  $R_{n+1}$  în raport cu sistemul  $R_1$
- restul de componente pentru **exprimarea orientării** sistemului de referință  $R_{n+1}$  în raport cu sistemul  $R_1$

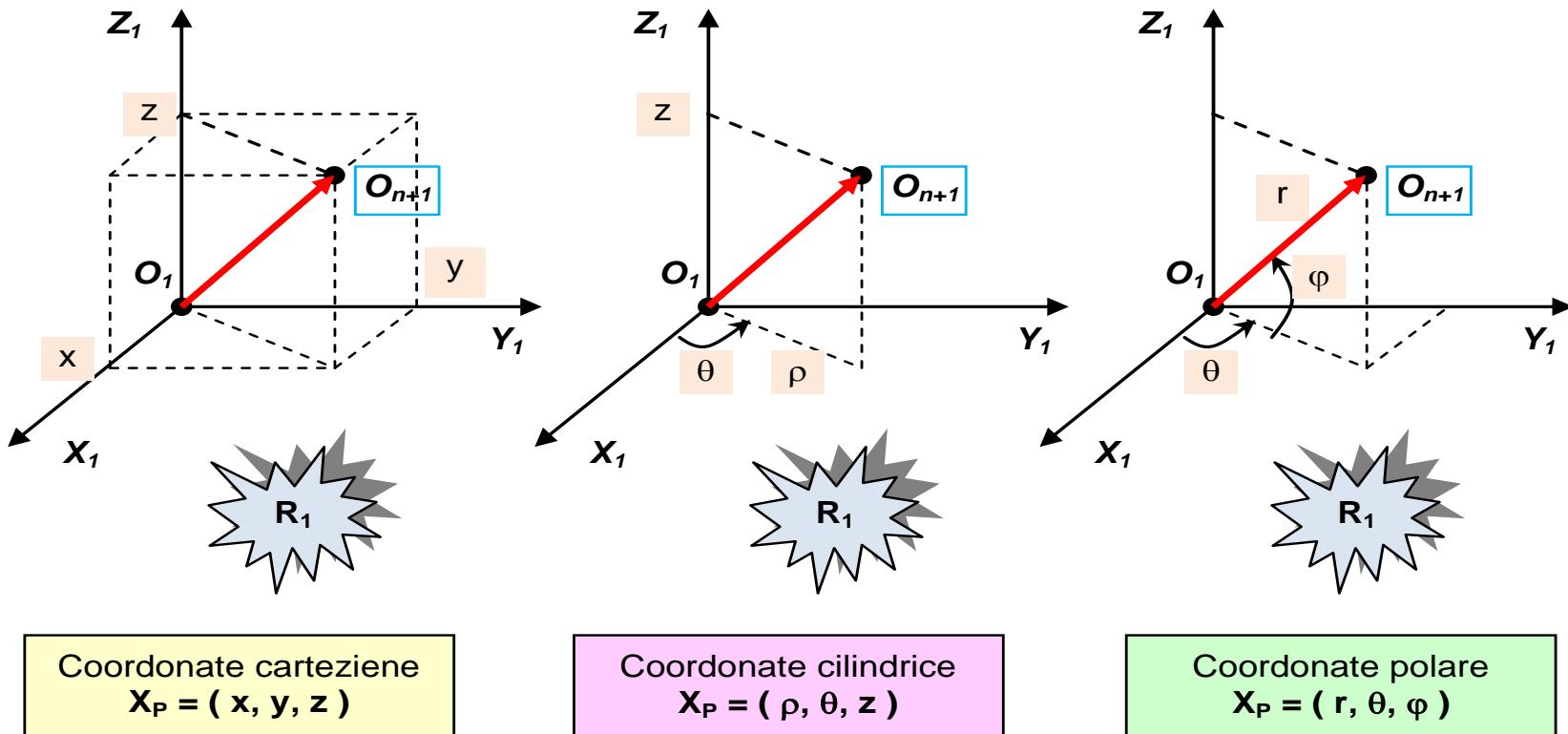
ceea ce simbolic poate fi scris:

$$x = (x_P, x_O)$$


### 3.3 Modelul geometric direct

**Vectorul de poziționare**  $x_p$  exprimă poziția originii ( $O_{n+1}$ ) a sistemului de referință  $R_{n+1}$  în raport cu originea ( $O_1$ ) a sistemului de referință  $R_1$

- Componentele vectorului de poziționare pot fi precizate prin **coordonate carteziene, coordonate cilindrice sau coordonate polare**, ca în figură:



Coordonate carteziene  
 $X_p = (x, y, z)$

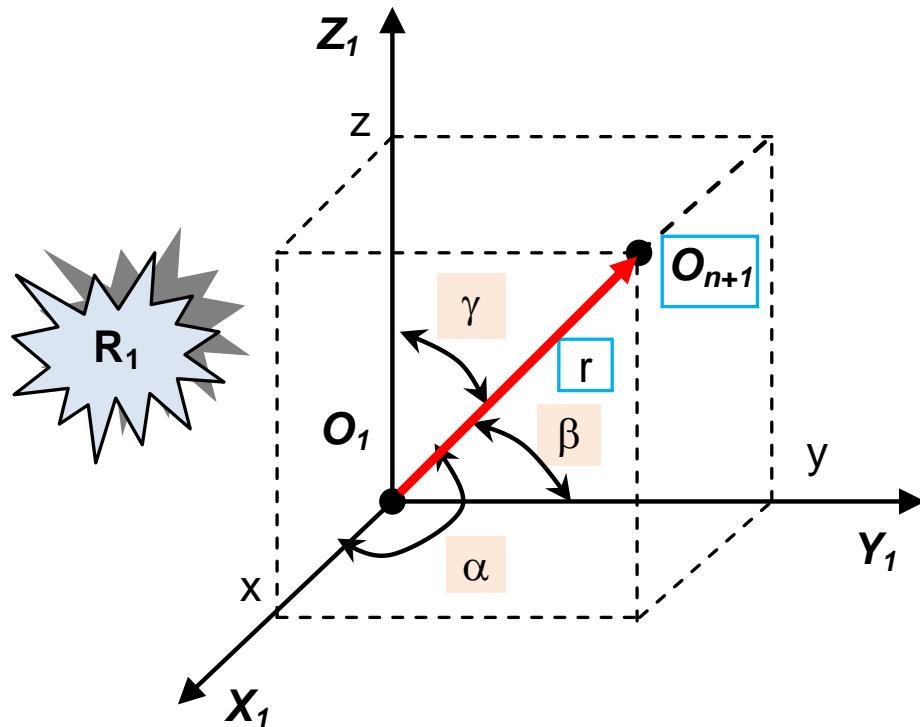
Coordonate cilindrice  
 $X_p = (\rho, \theta, z)$

Coordonate polare  
 $X_p = (r, \theta, \varphi)$

### 3.3 Modelul geometric direct

**Vectorul de orientare**  $x_O$  exprimă orientarea sistemului de referință  $R_{n+1}$  în raport cu sistemul de referință  $R_1$  (punctul  $O_1$ )

- Componentele vectorului de orientare pot fi precizate prin **3 unghiuri** ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), ca în figură, și vor reprezenta unghiurile cu care trebuie rotit sistemul de referință  $R_{n+1}$  pentru ca axele sale să devină paralele și corespondente (același sens) cu axele sistemului de referință  $R_1$



# Modele geometrice directe

Rezultă imediat relațiile următoare:

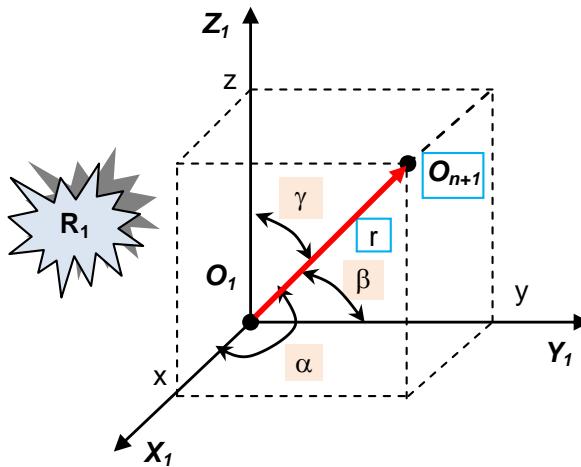
$$\cos \alpha = \frac{x}{r} \quad \cos \beta = \frac{y}{r} \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$

unde:

- $r$  este lungimea vectorului de poziție  $x_P$  al punctului  $O_{i+1}$  în raport cu sistemul de referință  $R_1$
- $(x, y, z)$  reprezintă coordonatele aceluiași punct

Aceste relații permit calculul imediat al celor 3 unghiuri:

$$\alpha = \arccos \frac{x}{r} \quad \beta = \arccos \frac{y}{r} \quad \gamma = \arccos \frac{z}{r}$$



## Capitolul 3. Modele geometrice și cinematice ale robotilor

3.1 Lanțuri cinematice

3.2 Structuri tipice pentru lanțul cinematic al brațului unui robot industrial

3.3 Modelul geometric direct

3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

3.5 Metoda Denavit – Hartenberg

3.6 Modele cinematice. Studii de caz

3.6.1 Robotul cartezian fără terminal complet decuplat

3.6.2 Robotul cilindric cu terminal complet decuplat

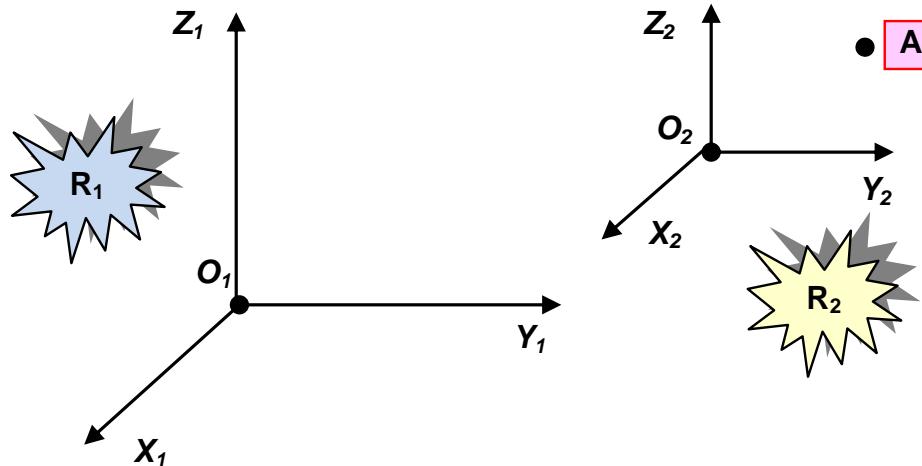
3.6.3 Robotul sferic (polar) cu terminal complet decuplat

3.6.4 Robotul antropomorf (vertical articulat) cu terminal complet decuplat

### 3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

#### a. Sisteme de coordonate reciproc translatate

Fie două sisteme de referință  $R_1$  și  $R_2$ , **reciproc translatate** (axele corespondente paralele și de același sens) și un punct oarecare  $A$  în spațiu:



- Pozițiile punctului  $A$  în raport cu cele două sisteme de referință sunt descrise prin coordonatele lor carteziene:

$$A^1 : (x_A^1, y_A^1, z_A^1) \text{ în sistemul } R_1$$

$$A^2 : (x_A^2, y_A^2, z_A^2) \text{ în sistemul } R_2$$

- Poziția originii  $O_2$  a sistemului  $R_2$  în sistemul  $R_1$  este:

$$O_2^1 : (x_{O_2}^1, y_{O_2}^1, z_{O_2}^1)$$

## 3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

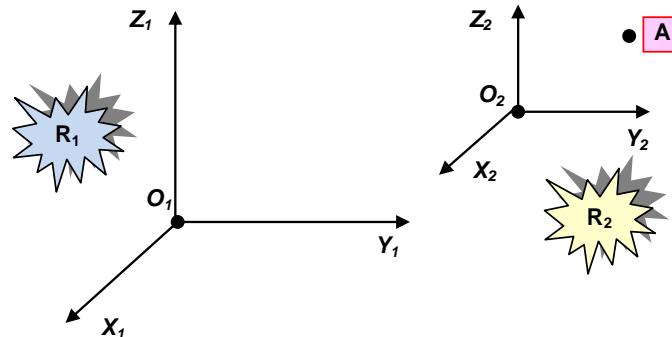
### a. Sisteme de coordonate reciproc translatable (continuare)

Folosind **transformarea Galilei**, poziția punctului A în sistemul de referință  $R_2$  poate fi exprimată în funcție de poziția sa în sistemul de referință  $R_1$  într-o manieră simbolică astfel:

$$A^2 = A^1 + O_2^1$$

ceea ce este echivalent cu relația matriceal-vectorială următoare:

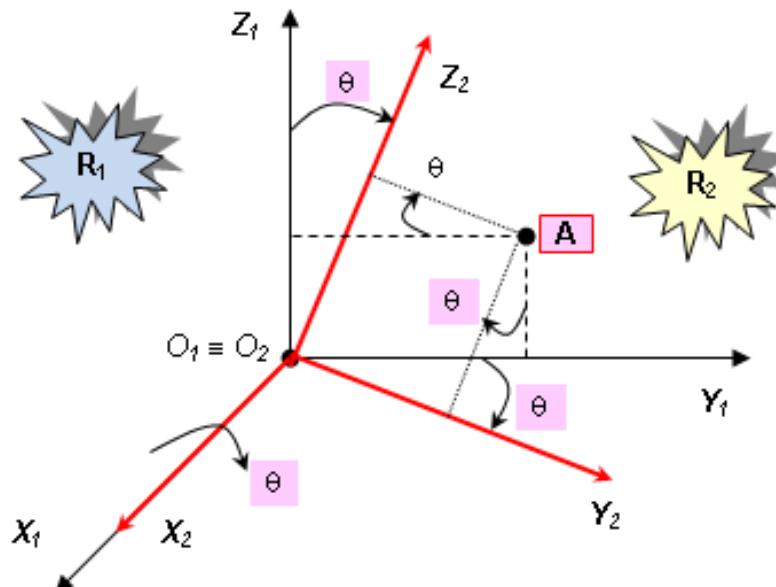
$$\begin{bmatrix} x_A^2 \\ y_A^2 \\ z_A^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_A^1 \\ y_A^1 \\ z_A^1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_O^1 \\ y_O^1 \\ z_O^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_A^1 + x_O^1 \\ y_A^1 + y_O^1 \\ z_A^1 + z_O^1 \end{bmatrix}$$



### 3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

#### b. Sisteme de coordonate reciproc rotite

Fie două sisteme de referință  $R_1$  și  $R_2$  cu originile comune, reciproc rotite cu un unghi  $\theta$  după o singură axă (X în figură), precum și un punct A din planul comun (YOZ):



- Pozițiile punctului A în raport cu cele două sisteme de referință sunt:

$$\mathbf{A}^1 : (0, y_A^1, z_A^1) \text{ în sistemul } R_1$$

$$\mathbf{A}^2 : (0, y_A^2, z_A^2) \text{ în sistemul } R_2$$

### 3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

#### b. Sisteme de coordonate reciproc rotite (continuare)

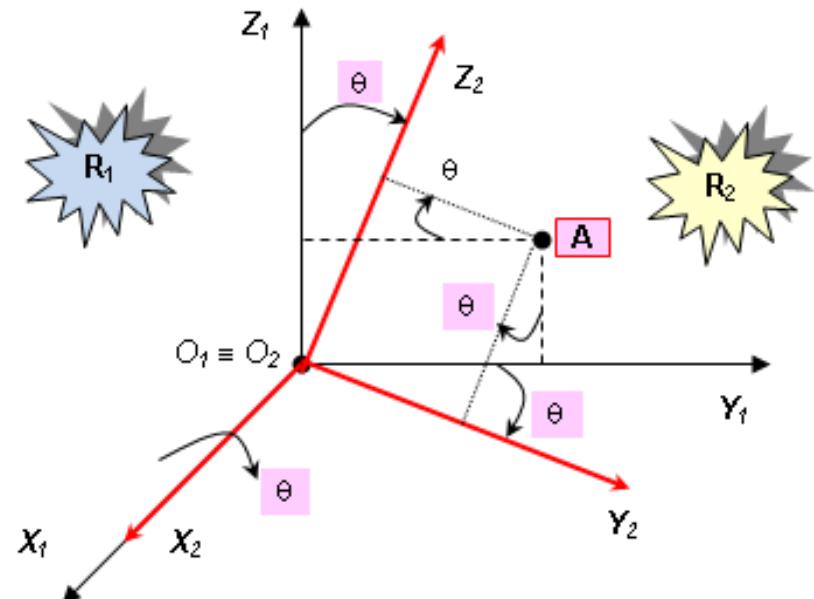
- Se pot demonstra simplu relațiile dintre coordonatele punctului A:

$$y_A^2 = y_A^1 \times \cos \theta - z_A^1 \times \sin \theta$$

$$z_A^2 = y_A^1 \times \sin \theta + z_A^1 \times \cos \theta$$

- Acstea transformări de coordonate pot fi reprezentate mai structurat folosind reprezentarea matriceal-vectorială:

$$\begin{bmatrix} x_A^2 \\ y_A^2 \\ z_A^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_A^1 \\ y_A^1 \\ z_A^1 \end{bmatrix}$$



### 3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

#### b. Sisteme de coordonate reciproc rotite (continuare)

**CONCLUZIE:** Dacă sistemul  $R_2$  este rotit față de sistemul  $R_1$  cu un unghi  $\theta$  în jurul axei **X**, legătura dintre coordonatele punctului A din sistemul  $R_2$  și coordonatele aceluiași punct din sistemul  $R_1$  este realizată prin matricea de rotație următoare:

$$ROT(X, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

Similar, sistemul  $R_2$  poate fi rotit în raport cu sistemul  $R_1$  cu un unghi oarecare  $\theta$  și în jurul axei **Y** sau al axei **Z**, obținând rezultatele:

$$ROT(Y, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$ROT(Z, \theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## 3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

### OBSERVAȚII:

- **Translația și rotația elementară** dintre două sisteme de referință acoperă practic **cazul couplelor cinematice cu un singur grad de libertate**, cele mai des utilizate de către roboții industriali
- Se impune însă construcția unui **operator matriceal de transformare cu o structură generală**, prin particularizarea căruia să regăsim cazurile elementare stabilite anterior
  - Simpla alăturare a matricii de rotație ( $3 \times 3$ ) și a vectorului de translație ( $3 \times 1$ ), și ar conduce la un operator general de transformare nepătratic ( $3 \times 4$ ), ceea ce va determina imposibilitatea calcului simplu al matricii inverse și necesitatea utilizării matricilor pseudoinverse
  - Pentru a preveni acest neajuns, se construiește **operatorul matriceal omogen de transformare între două sisteme de referință** în forma următoare:

$$T = \begin{bmatrix} \text{Matr.}_\text{Rot.}(3 \times 3) & \text{Vect.}_\text{Trans.}(3 \times 1) \\ 0,0,0 & 1 \end{bmatrix}_{(4 \times 4)}$$

### 3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

#### OBSERVAȚII:

$$T = \begin{bmatrix} \text{Matr.}_\text{Rot.}(3 \times 3) & \text{Vect.}_\text{Trans.}(3 \times 1) \\ 0,0,0 & 1 \end{bmatrix}_{(4 \times 4)}$$

- Se remarcă introducerea unei linii suplimentare  $(0,0,0,1)$  care dă **caracterul omogen al transformării în spațiul Euclidian**, asigurând pentru operatorul matriceal **o formă pătratică**, de dimensiune  $(4 \times 4)$ , **deci inversabilă**.
  - Așa cum se va vedea, problema calculului matricii inverse prezintă importanță practică în ecuațiile **modelului cinematic invers al robotului**, după cum forma directă prezintă importanță practică în ecuațiile **modelului cinematic direct al robotului**
- Așa cum ne-am propus inițial, prin particularizarea formei generale a operatorului matriceal omogen de transformare vom regăsi următoarele 4 structuri particulare, unde s-au folosit notățiile simplificate următoare:

$$\sin \theta = s\theta$$

$$\cos \theta = c\theta$$

### 3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

OBSERVAȚII:

$$TRANS(a, b, c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$ROT(X, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\theta & -s\theta & 0 \\ 0 & s\theta & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$ROT(Y, \theta) = \begin{bmatrix} c\theta & 0 & s\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s\theta & 0 & c\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$ROT(Z, \theta) = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta & 0 & 0 \\ s\theta & c\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} Matr._{Rot.}(3 \times 3) & Vect._{Trans.}(3 \times 1) \\ 0,0,0 & 1 \end{bmatrix}_{(4 \times 4)}$$

### 3.4 Sisteme de coordonate și relații de transformare între ele

#### OBSERVAȚII:

- Folosind (după caz) unul dintre operatorii matriceali omogeni de transformare se pot regăsi toate situațiile elementare posibile stabilite anterior
- **EXEMPLU:** translația pură dintre două sisteme de referință

$$A^2 = \text{TRANS} (x_O^1, y_O^1, z_O^1) \times A^1 =$$

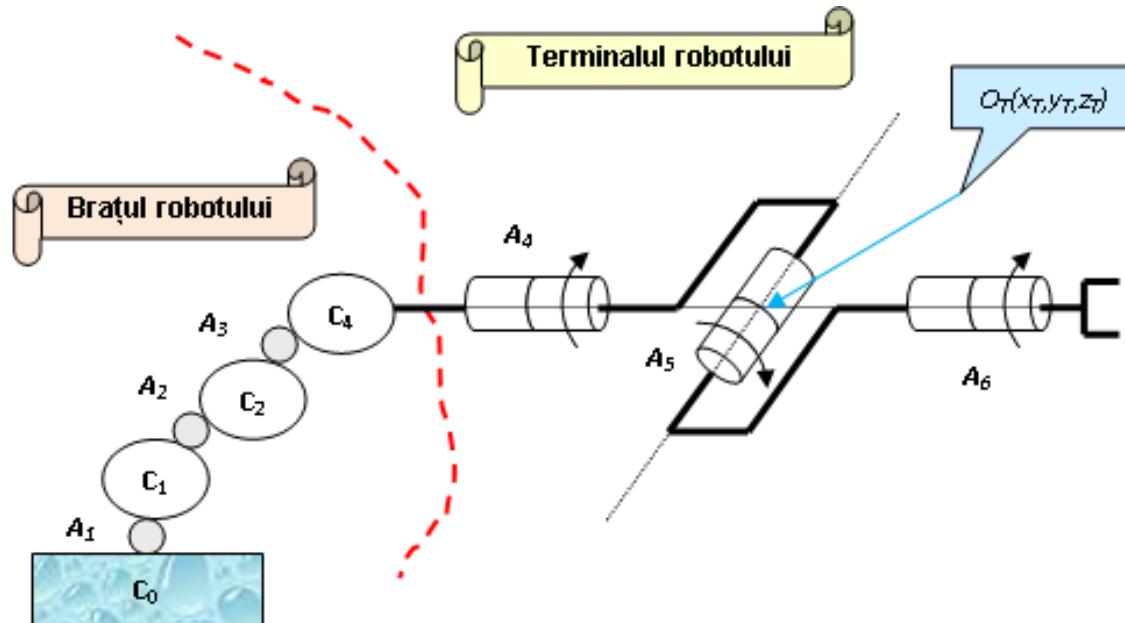
$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_O^1 \\ 0 & 1 & 0 & y_O^1 \\ 0 & 0 & 1 & z_O^1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_A^1 \\ y_A^1 \\ z_A^1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_A^1 + x_O^1 \\ y_A^1 + y_O^1 \\ z_A^1 + z_O^1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_A^2 \\ y_A^2 \\ z_A^2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

•END

### 3.1 Lanțuri cinematice

#### OBSERVATII: INITIAL

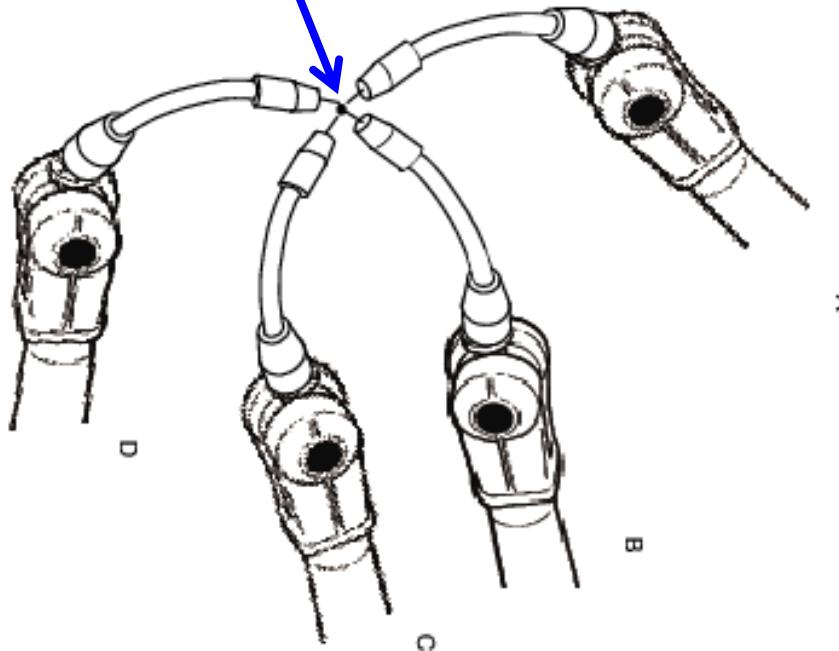
- Nu toți roboții au o structură cu terminal complet decuplat
- Roboții cu terminal complet decuplat prezintă multiple avantaje pentru instruire și implementarea legilor de conducere, întrucât:
  - Poziția punctului  $O_T$  este controlată exclusiv prin articulațiile  $A_1, A_2, A_3$
  - Orientarea punctului  $O_T$  este controlată prin articulațiile  $A_4, A_5, A_6$ .



## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

### **OBSERVAȚII:**

- Pentru foarte multe aplicații este la fel de importantă și ***orientarea terminalului*** de-a lungul traectoriei
- Teoretic, pentru **fiecare poziție a PCT** de-a lungul traectoriei avem și o infinitate de orientări posibile



## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

---

### **OBSERVAȚII:**

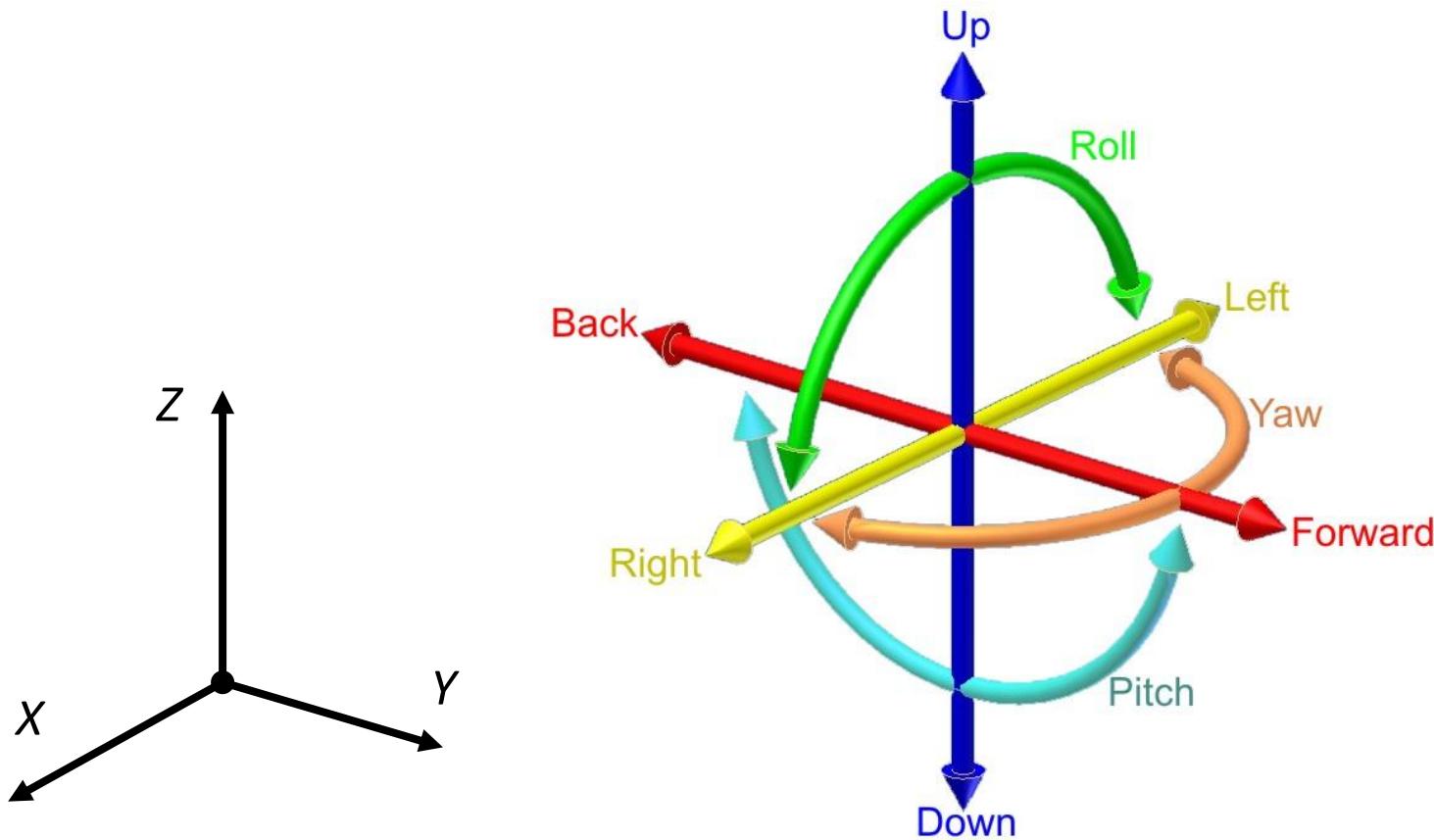
- Ansamblul *poziție + orientare PCT* la un moment de timp se numește *localizarea PCT*

***Localizare = Poziție + Orientare***

- O localizare este definită prin **coordonatele sale geometrice într-un sistem de referință fix** (de regulă asociat bazei robotului).
- În cazul general o localizare este definită prin **6 parametri**:
  - 3 pentru poziție
  - 3 pentru orientare
- Cele 6 grade de libertate (6 gdl) asociate localizării unui punct în spațiul de operare sunt prezentate în figura următoare:

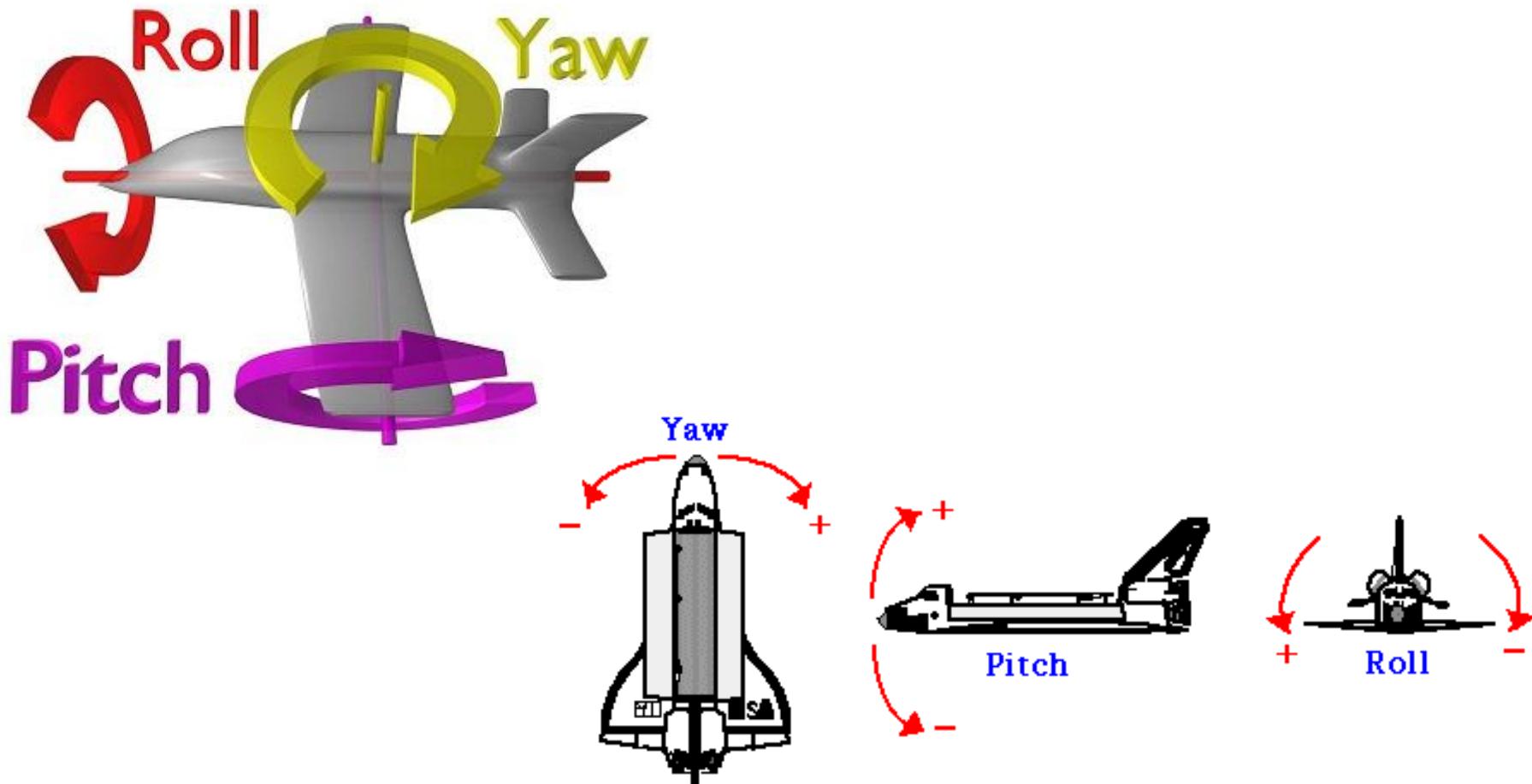
## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

**Cele 6 grade de libertate (6 gdl) asociate localizării unui punct în spațiul de operare**



## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

Cele 6 grade de libertate (6 gdl) asociate localizării unui punct în spațiul de operare se folosesc și în aviație



## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

---

### **OBSERVATIE:**

- Pentru simplificarea înțelegерii, în această fază ne vom referi numai la aspectele de poziționare și vom neglija deocamdată pe cele de orientare

*Localizare = **Poziție** + **Orientare***

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

O deplasare elementară poate fi supusă unor constrângeri geometrice sau temporare, după cum urmează:

1. Atât spațiul de operare cât și aplicația realizată nu introduc restricții (Fig. 2.15.a))

- Cazul cel mai simplu
- Fiind impuse  $PI$  și  $PF$ , curba de legătură  $\Gamma$  este indiferentă ca formă și ca timp de execuție, putând fi oricare din familia curbelor posibile ( $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots$ )

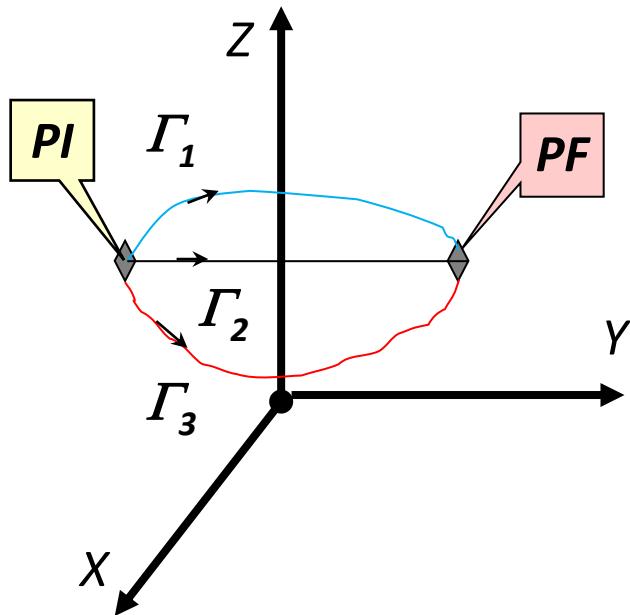


Fig. 2.15.a Deplasări elementare ale PCT robot.

## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

2. Există restricții geometrice (în spațiul de operare sau la nivelul articulației robotului care execută deplasarea elementară), dar nu există restricții temporare (Fig. 2.15.b)
- În această situație, curba de legătură  $\Gamma$  poate fi aleasă dintr-un număr mai mic de posibilități

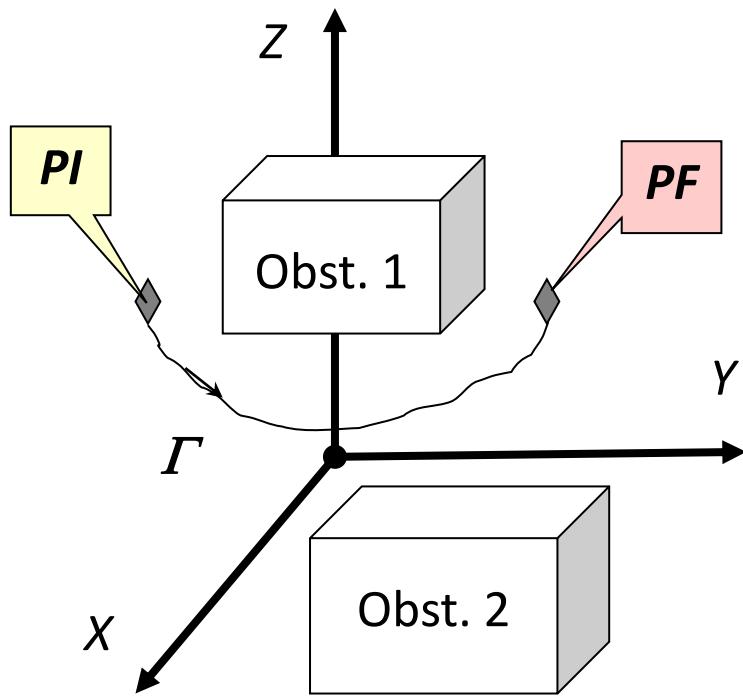


Fig. 2.15.b Deplasări elementare ale PCT robot.

## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

---

3. Există atât restricții geometrice cât și temporare, deci curba de legătură  $\Gamma$  este unică și parametrizată în timp

Ansamblul  $(\Gamma, t)$  se numește **traекторie**

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

---

Roboții industriali folosesc (aproape în exclusivitate) **articulații cu un singur grad de libertate (1 gdl)**, de tip **translație** sau de tip **rotație**

- **Motivație:** structura mecanică a fiecărei articulații este mult mai simplă cu o singură acționare

**Mărimea asociată pentru descrierea poziției unei articulații:**

- **La articulația de translație:** *lungimea deplasării părții mobile în raport cu cea fixă*
  - Acționarea generează ***o forță*** pentru glisarea părții mobile pe partea fixă
- **La articulația de rotație:** *unghiul de rotație al părții mobile față de partea fixă*
  - Acționarea generează ***un cuplu*** pentru rotația părții mobile pe partea fixă

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

---

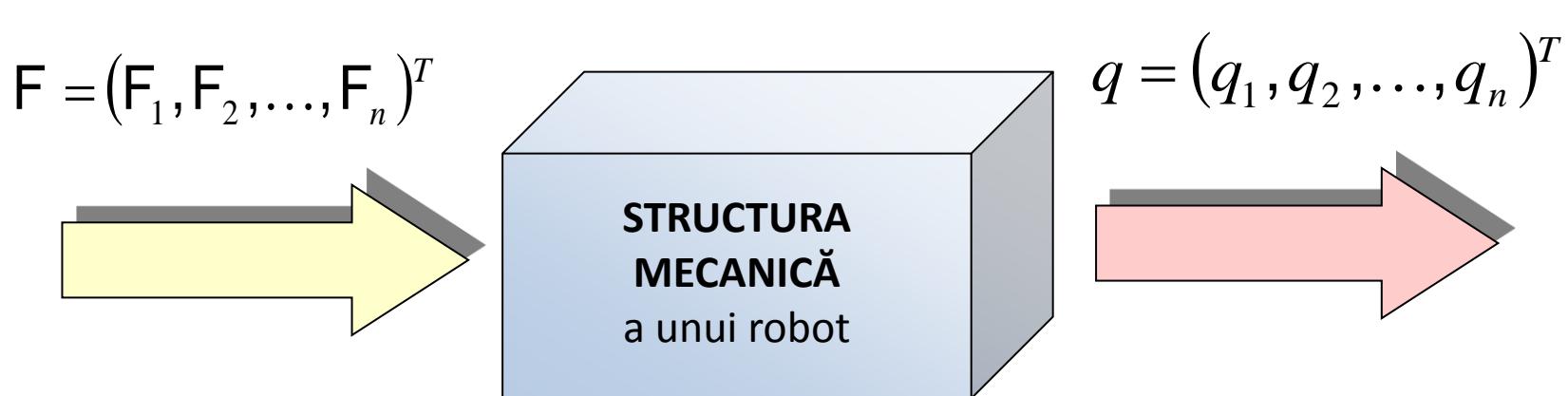
Deoarece un robot poate avea ambele tipuri de articulații, se resimte **necesitatea unei exprimări simple și unitare, care să acopere cele două cazuri**. Se introduc noțiunile:

- ***Coordonată internă generalizată*** pentru descrierea pozițiilor articulațiilor
  - O coordonată internă generalizată poate fi în particular:
    - ✓ O distanță, pentru articulația de translație
    - ✓ Un unghi, pentru articulația de rotație
- ***Forță generalizată*** pentru a ne referi la efectul acționărilor
  - O forță generalizată poate fi în particular:
    - ✓ **O forță**, generată de către sistemul de acționare al articulației de translație
    - ✓ **Un cuplu**, generat de către sistemul de acționare al articulației de rotație

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

**Ca obiect de conducere**, structura mecanică a unui robot poate fi privită ca un **element orientat** caracterizat prin:

- Un **vector de intrare** (**forțele generalizate aplicate de acționări**)
- Un **vector de ieșire** (**oordonatele interne generalizate din articulații**)



**Fig. 2.16** Structura mecanică a unui robot, privită ca obiect orientat.

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

---

Aplicarea unui vector de intrare (set de forțe generalizate dezvoltate în articulații) nu conduce la același vector de ieșire pentru orice robot:

- **Legătura ieșire - intrare** depinde de construcția structurii mecanice și a acționărilor, respectiv **modelul matematic al robotului**, obținut din **ecuațiile de cinematică și de dinamică asociate fiecărui robot**
- **Acest model matematic este în general destul de complicat** (conține funcții neliniare, cu variabile atât coordonatele interne generalizate cât și primele lor două derivate, adică vitezele și accelerațiile din articulații)

**Modelul matematic al robotului (legătura ieșire – intrare)** poate fi redat simbolic sub forma:

$$f_i \begin{pmatrix} q_i & \dot{q}_i & \ddot{q}_i \end{pmatrix} = F_i \quad \text{unde } i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

## 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### Problema directă în conducerea unui robot

Cunoscând vectorul forțelor generalizate aplicate în articulațiile robotului la un moment de timp, se cere determinarea poziției, vitezei și accelerației instantanee la nivelul PCT pe traекторia curentă

- Ecuatiile de legătură formează **modelul matematic direct al robotului**

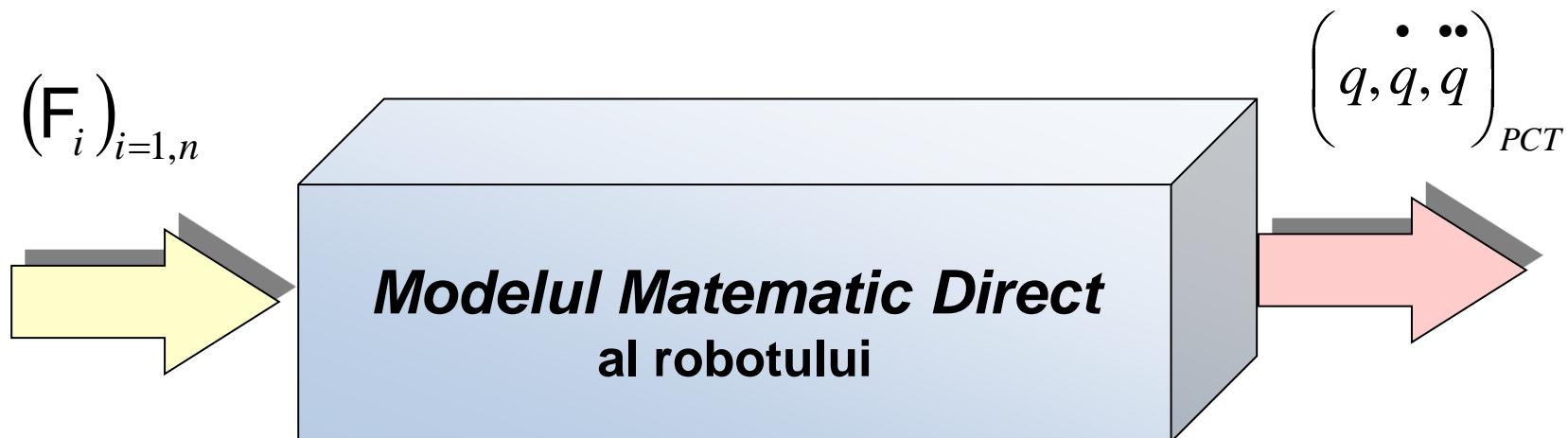


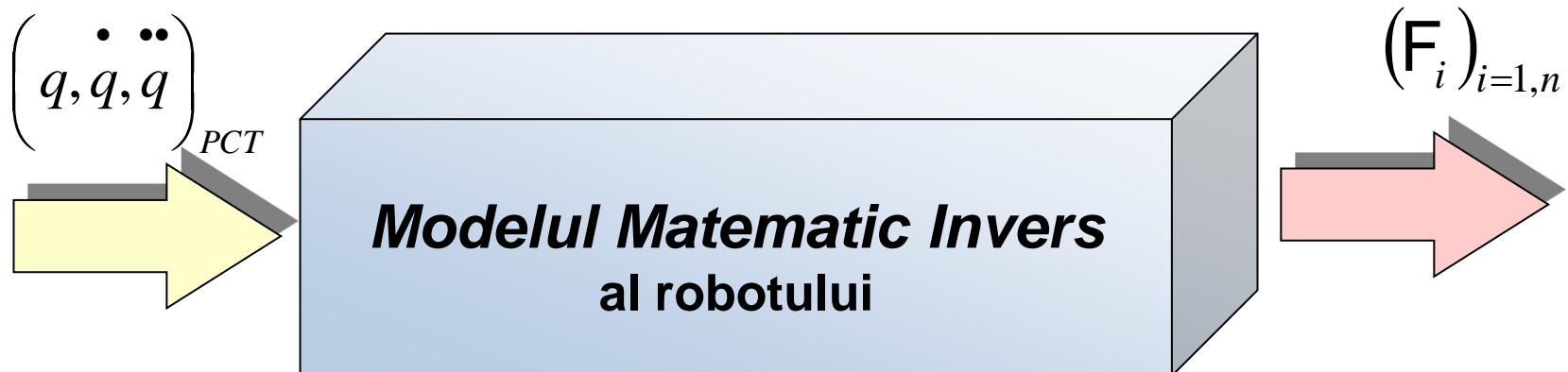
Fig. 2.17 Conducerea unui robot: problema directă de conducere.

## 2.2 Probleme generale în conducerea robotilor industriali

### Problema inversă în conducerea unui robot

Cunoscând poziția, viteza și accelerația instantanee a PCT pe traectoria curentă, se cere determinarea vectorului forțelor generalizate care trebuie dezvoltate în articulațiile robotului pentru realizarea tuturor acestor parametri, la același moment de timp.

- Ecuațiile de legătură formează **modelul matematic invers al robotului**



**Fig. 2.18** Conducerea unui robot: **problema inversă de conducere**.

**OBS:** Din punct de vedere matematic, atât problema directă, dar mai ales cea inversă sunt extrem de laborioase și relativ complicate.

## **Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot**

### **2.1 Componentele sistemului robot**

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările**
- 2.1.2 Sursa energetică**
- 2.1.3 Spațiul de operare**
- 2.1.4 Programul funcțional**
- 2.1.5 Sistemul de conducere**

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere**
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere**
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă**

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor**

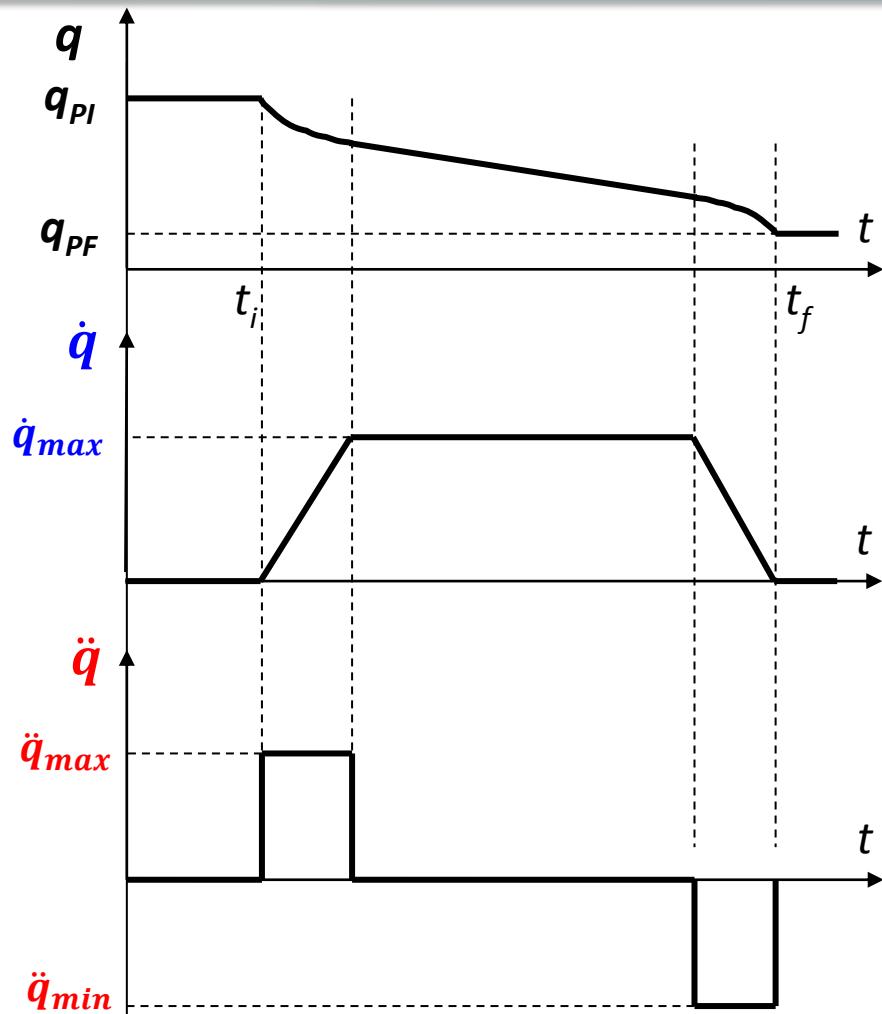
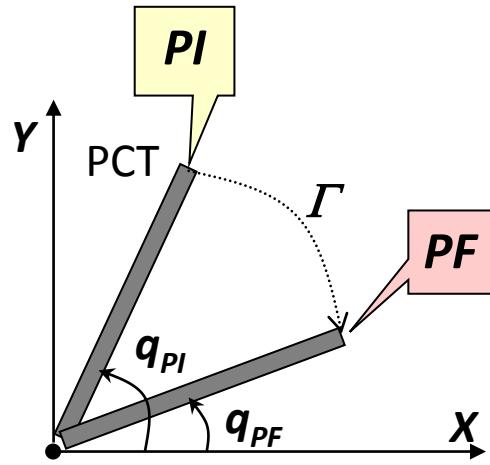
## 2.3 Generarea unei traекторii elementare

---

Se consideră o articulație robot de tip rotație care trebuie să se deplaseze dintr-o poziție inițială  $P_I$  într-una finală  $P_F$

- Sistemul de conducere al articulației trebuie să asigure comanda adecvată a acționării din articulație, rezultând în final o evoluție tipică pentru poziție, viteză și accelerare de tipul ilustrat prin **tahogramele** asociate în Fig. 2.19.

## 2.3 Generarea unei traекторii elementare



**Fig. 2.19** Tahogramele tipice ale coordonatei generalizate, vitezei și accelerării pentru o deplasare elementară.

## 2.3 Generarea unei traекторii elementare

---

- Din cauza numeroșilor **factori perturbatori** (electrici, mecanici, interni sau externi în raport cu sistemul robot), simpla programare a mișcării unei articulații nu înseamnă automat și realizarea sa în condițiile de calitate dorite. Ca urmare:
  - Este necesară **conducerea în circuit închis** pentru articulațiile robotice
- Din punct de vedere al organizării generale a unui sistem de conducere robotic există trei soluții:
  - **Sisteme centralizate de conducere**
  - **Sisteme descentralizate de conducere**
  - **Sisteme de conducere bazate pe compliantă**

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere**
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.3.1 Sistem centralizat de conducere

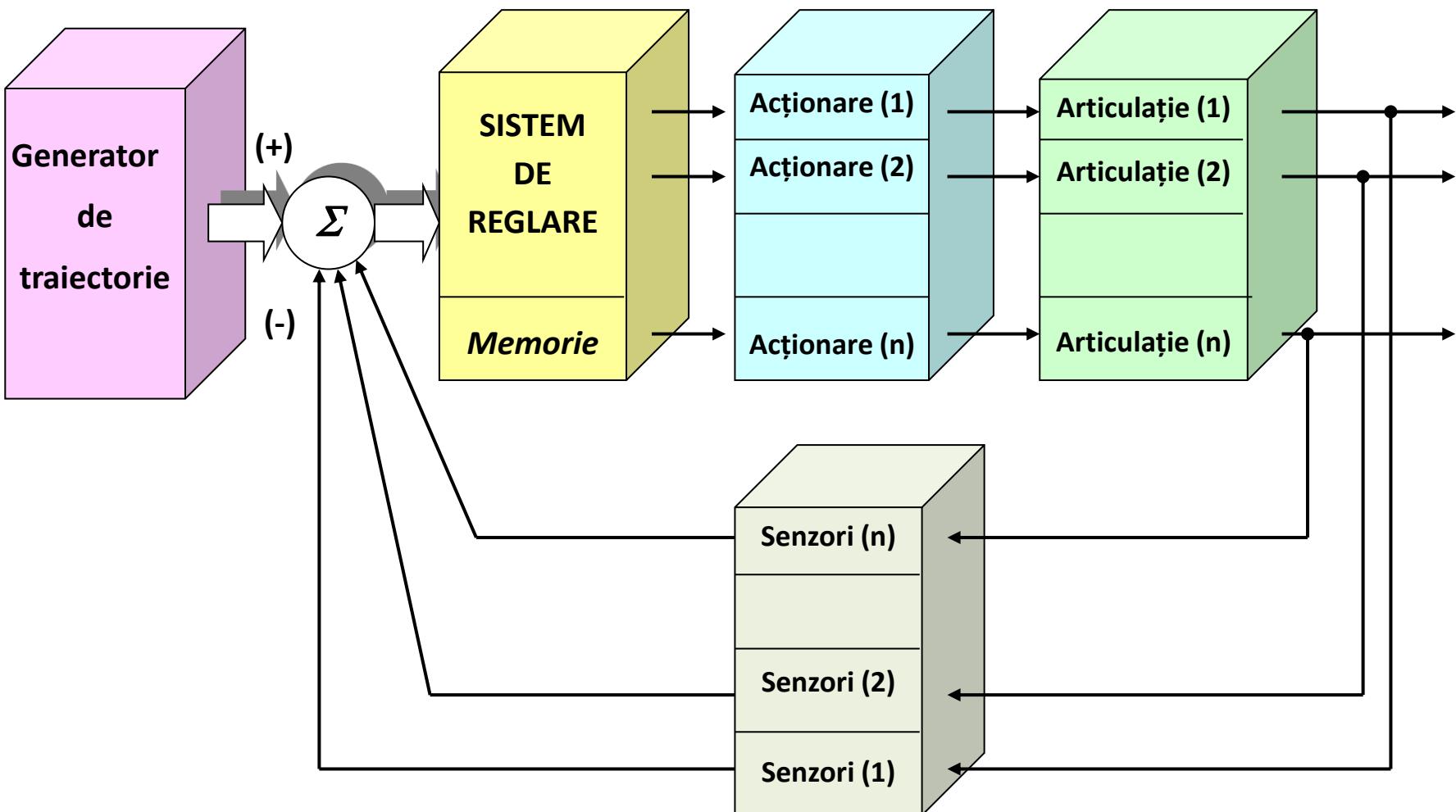


Fig. 2.20 Sistem centralizat de conducere pentru un robot.

## 2.3.1 Sistem centralizat de conducere

---

### Trăsături:

- **Un sistem de reglare unic**, care tratează în mod unitar și centralizat întreaga structură mecanică a robotului, furnizând legea de reglare necesară fiecărei acționări
- Este în realitate foarte complex, atât soft cât și hard:
  - Deși aparent prezența unui singur sistem de reglare pare un avantaj, **acesta trebuie să fie foarte rapid și performant**, deci **mult mai scump**
  - Abordarea tuturor articulațiilor nu se poate face decât prin **tehnica eșantionării**, fiind necesar și modelul matematic asociat întregii structuri mecanice
  - **Sistemul de reglare va trebui să conțină o memorie pentru:**
    - **Stocarea legilor de reglare** precum și a **valorilor parametrilor asociati fiecărei articulații**
    - **Stocarea tuturor mărimilor reglate** pe durata unui ciclu de eșantionare a articulațiilor robotului

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere**
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere

### Trăsături:

- **Buclele de reglare nu sunt total decuplate**, întrucât la nivelul articulațiilor există intercondiționări reciproce introduse de structura mecanică
- Influența întregii structurii mecanice asupra articulației curente este **o perturbație**
- Rezultă **o structură de conducere cu  $n$  bucle de reglare cvasi-independente**, net avantajoasă datorită compactății, defalcării pe articulații și utilizării unor modele matematice mult mai simple.

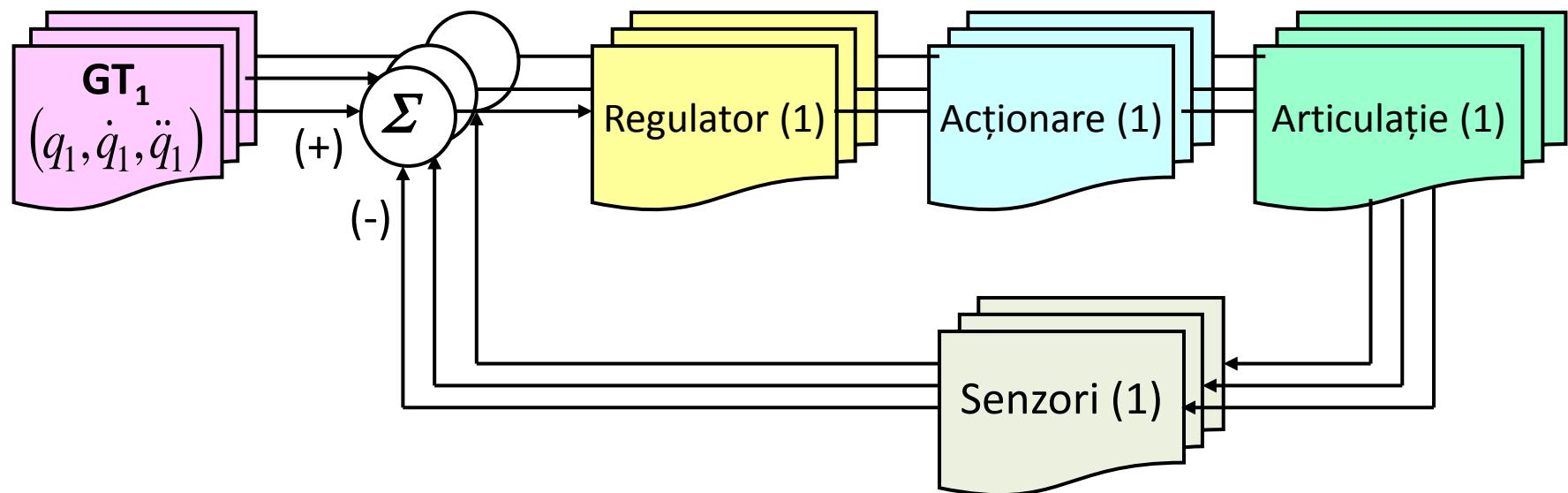


Fig. 2.21 Sistem descentralizat de conducere pentru un robot.

## **Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot**

### **2.1 Componentele sistemului robot**

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările**
- 2.1.2 Sursa energetică**
- 2.1.3 Spațiul de operare**
- 2.1.4 Programul funcțional**
- 2.1.5 Sistemul de conducere**

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere**
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere**
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă**

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor**

## 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

---

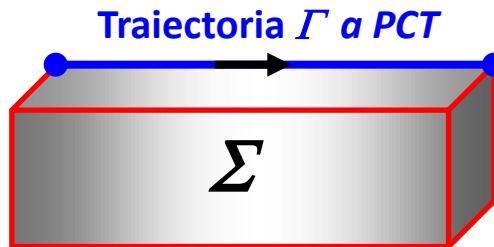
### Trăsături:

- Există aplicații robotizate (ex. sudură cu cordon continuu) în care **punctul characteristic al terminalului PCT trebuie să fie în contact permanent cu un anumit obiect**
  - Generarea acestor traекторii (ca o succesiune de poziții de către sistemele de conducere clasice) este dificilă iar uneori poate conduce la insucces
  - Mult mai avantajos este un sistem de conducere care acționează în sensul controlului forței de apăsare a PCT pe obiectul sudat
- Se numește **mișcare compliantă a unui robot** acel tip de traectorie care asigură deplasarea punctului characteristic al terminalului în contact permanent cu o anumită suprafață
- O mișcare compliantă poate fi realizată în două moduri:
  1. Programarea clasică a traectoriei dorite
  2. Controlul forței de apăsare a PCT pe suprafața de contact

## 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 1. Mișcare compliantă prin programarea clasică a traectoriei dorite

Aparent este mai simplă, întrucât nu necesită facilități suplimentare introduse aprioric în sistemul de conducere al robotului



Pot apărea însă frecvent situații nedorite în care fie:

- Este pierdută compliantă robot - obiect (iar calitatea procesului tehnologic este compromisă)
- Apare un blocaj mecanic la nivelul articulațiilor (care va conduce la declanșarea protecției unei acționări, întreruperea funcționării și intrarea într-un regim de avarie a întregului sistem robot)

Cauze:

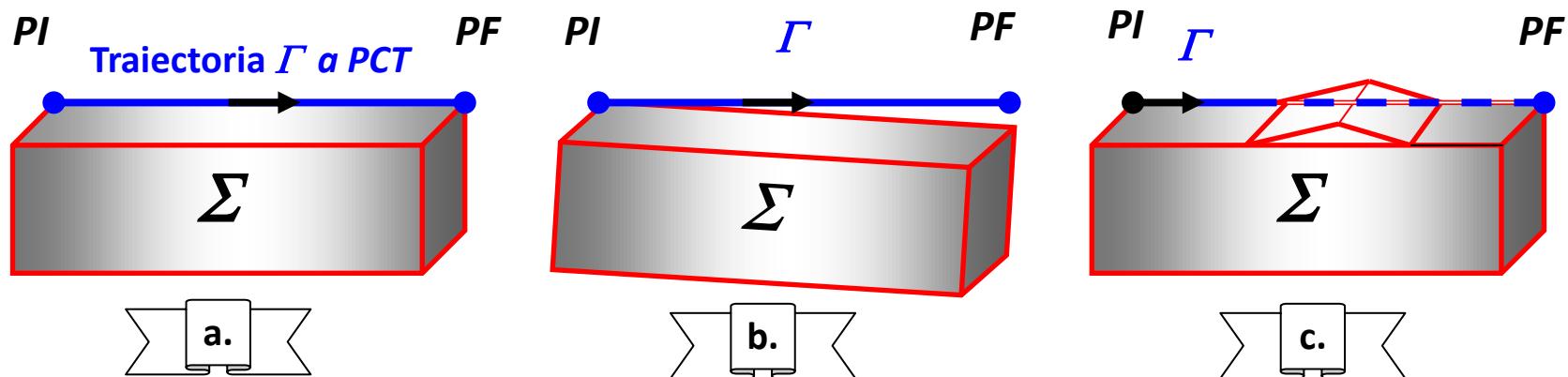
- Programare defectuoasă a traectoriei PCT
- Gradul prea mare de "variabilitate neprevăzută" a suprafețelor de contact (posibilă în mediul industrial)

## 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 1. Mișcare compliantă prin programarea clasică a traекторiei (CONTINUARE)

Două exemple în care programare clasică a traectoriei (**Fig.a**) conduce la insucces (pierderea compliantă):

- **Fig. b:** Traекторia PCT este riguros orizontală, dar **suprafața de contact  $\Sigma$  nu mai respectă planeitatea inițială**
- **Fig. c:** Calitatea suprafeței de contact  $\Sigma$  nu este uniformă, astfel încât **rugozițările prezente vor conduce la blocarea unei articulații și intrarea robotului în regimul de avarie, fără atigerea PF**



## 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2. Mișcare compliantă prin controlul forței de apăsare a PCT pe suprafața de contact

Deficiențele amintite pot fi înlăturate numai dacă sistemul de conducere dispune de **o facilitate suplimentară, care permite controlul forței normale de apăsare pe suprafața de contact  $\Sigma$** :

- Informația senzorială este asigurată de către **un traductor de forță** (marcă tensometrică) care măsoară forța  $F_z$
- Controlul forței este asigurată de **o buclă de reglare suplimentară**

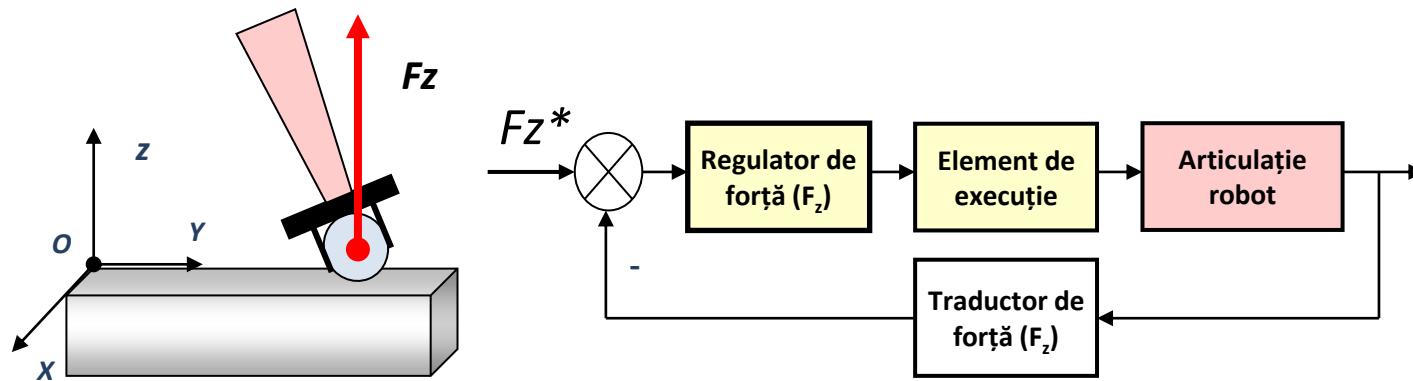


Fig. 2.23 Realizarea controlului într-o mișcare compliantă.

## 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

---

### 2. Mişcare compliantă prin controlul forţei de apăsare a PCT pe suprafaţa de contact (CONTINUARE)

#### OBSERVATII:

- Un robot nu efectuează numai mişcări compliante într-o aplicaţie de sudură cu cordon continuu (există şi deplasări ale terminalului robot între cordoanele de sudură necesare, în apropierea obiectului sudat, întrerupând contactul fizic cu acesta)
- Se numeşte **mişcare de gardă**, deplasarea terminalului robot **în proximitatea unui obiect, fără contact direct cu acesta**
- **Sistemul de conducere trebuie să poată comuta legea de conducere a robotului** între **controlul poziţiei** şi **controlul forţei**, deci între o **deplasare de gardă** şi una compliantă

# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

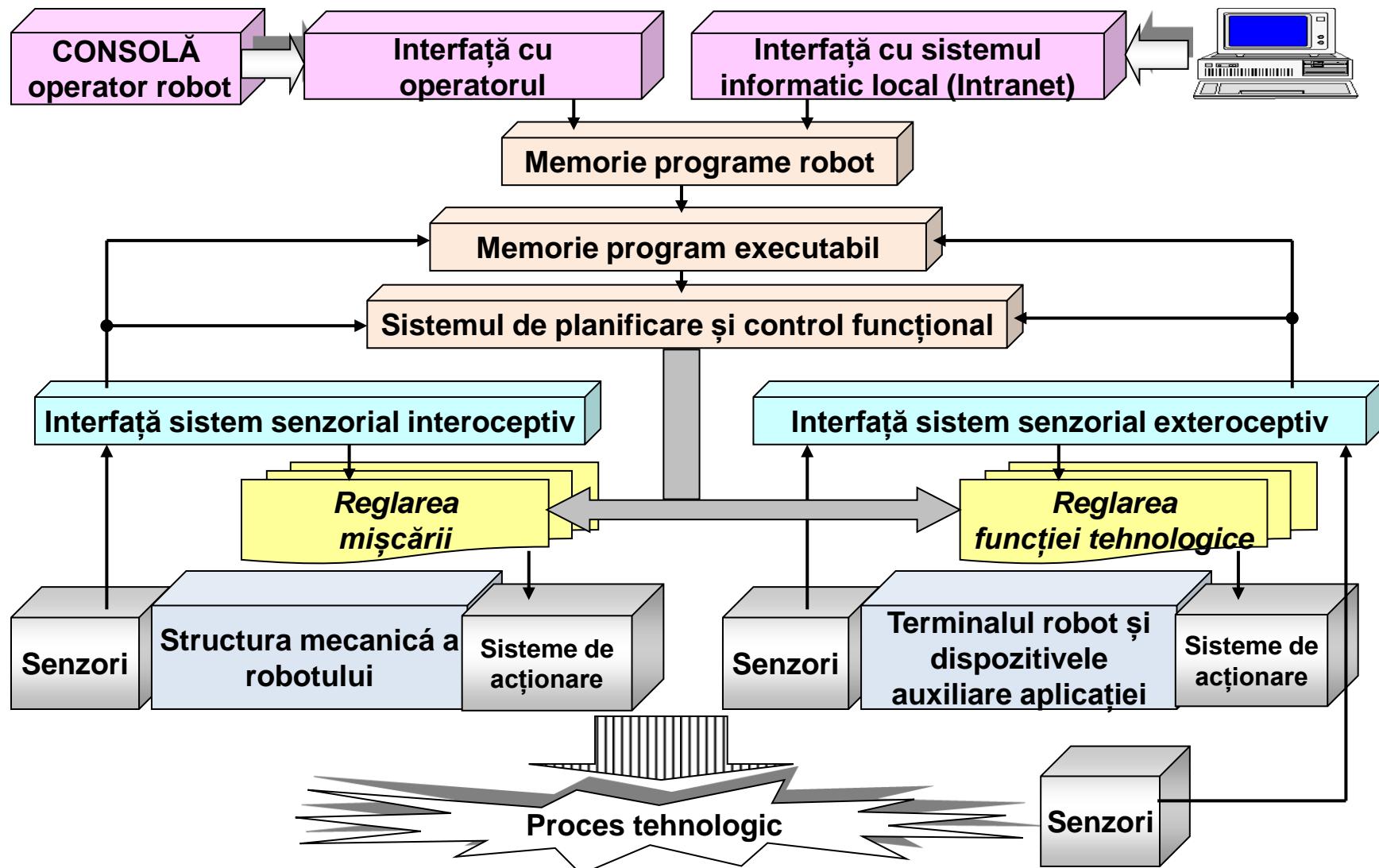


Fig. 2.24 Soluție clasică de organizare a sistemului de conducere al unui robot industrial.

## 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

Sistemele de conducere ale robotilor industriali pot fi implementate in diferite tehnologii, electrice sau fluidice

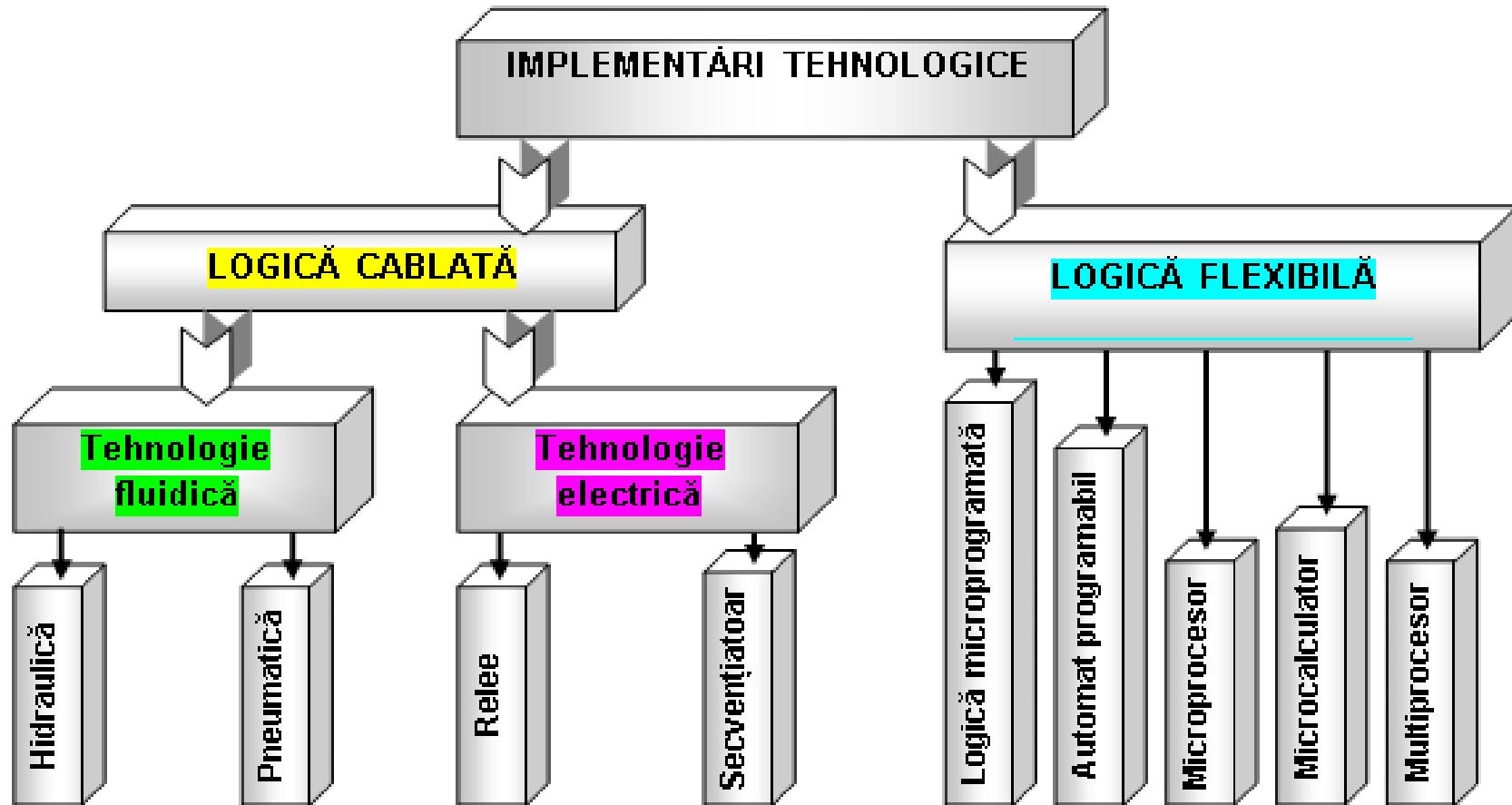


Figura 2.25 Tehnologii folosite pentru realizarea sistemelor de conducere ale robotilor industriali.

## 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

---

### **OBSERVATII:**

- Tehnologia folosită pentru realizarea sistemului de conducere este evident în strânsă corelație și cu performanțele de care sistemul robot este capabil în ansamblul său
- Tehnologiile electrice sunt extrem de diverse, plecând de la structuri simple bazate pe relee până la structuri multiprocesor
- Scăderea semnificativă a prețului de cost pentru tehnologiile electronice evolute a contribuit în ultimii ani la puternica dezvoltare a acestor soluții, în paralel cu oferirea unor facilități de operare din ce în ce mai performante și la prețuri accesibile.

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată

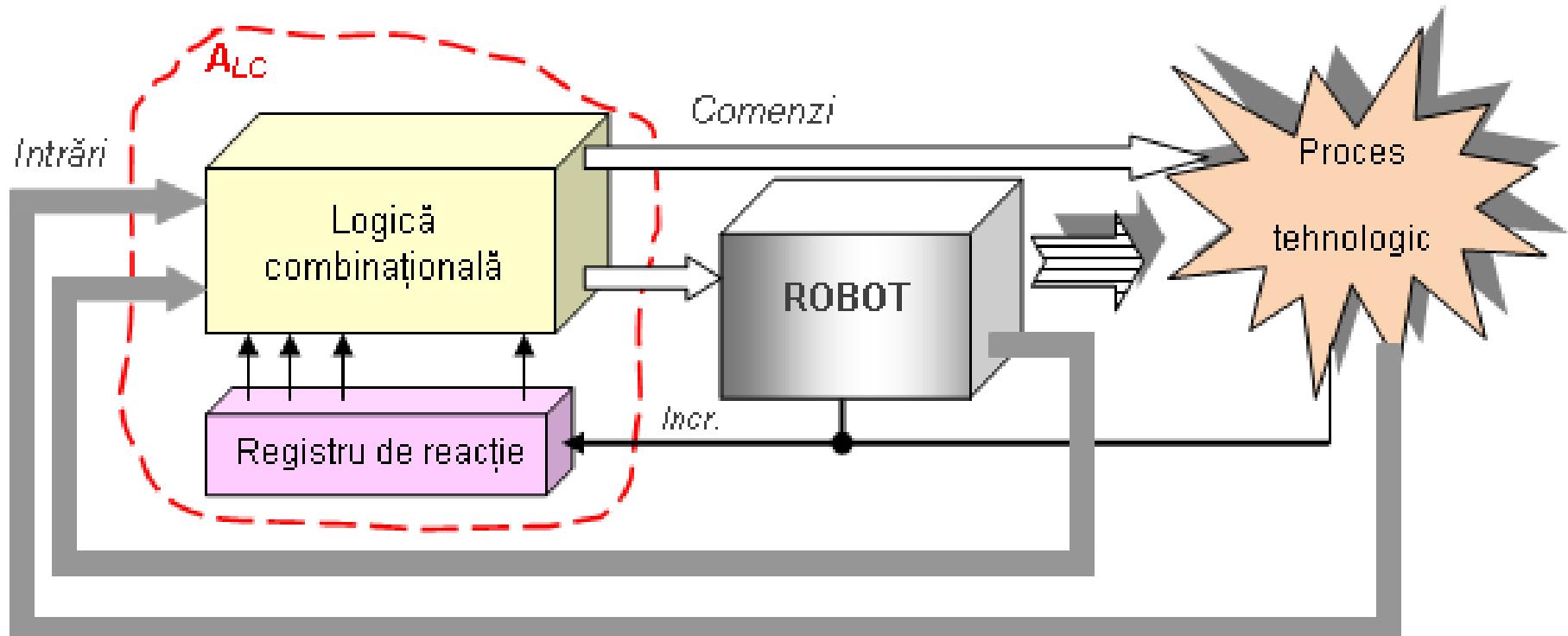


Figura 2.26 Arhitectură în logică cablată.

## 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată

---

### Trăsături:

- Se utilizează numai pentru conducerea structurilor robotice puțin evolute (manipulatoare, care realizează cicluri funcționale simple și prestable, deoarece modificări ulterioare sunt fie greu de realizat, fie imposibile fără o reproiectare integrală)
- **Automatul în logică cablată  $A_{LC}$**  este format dintr-un **bloc de logică combinațională** și un **regisztror de reacție** (suportul stării curente)
  - Primește intrări de la sistemul senzorial al robotului și de la procesul tehnologic.
  - Pe baza acestora, a logicii interne cablate și a evoluției sale anterioare, el determină setul de comenzi necesare pentru întreaga aplicație robotizată.
  - Trecerea la următoarea secvență funcțională se realizează prin incrementarea regisztrului de stare (realizată cel mai adesea de către un semnal logic provenit de la un senzor amplasat pe robot sau în procesul tehnologic și care confirmă realizarea comenzii curente)

# CUPRINS

---

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată

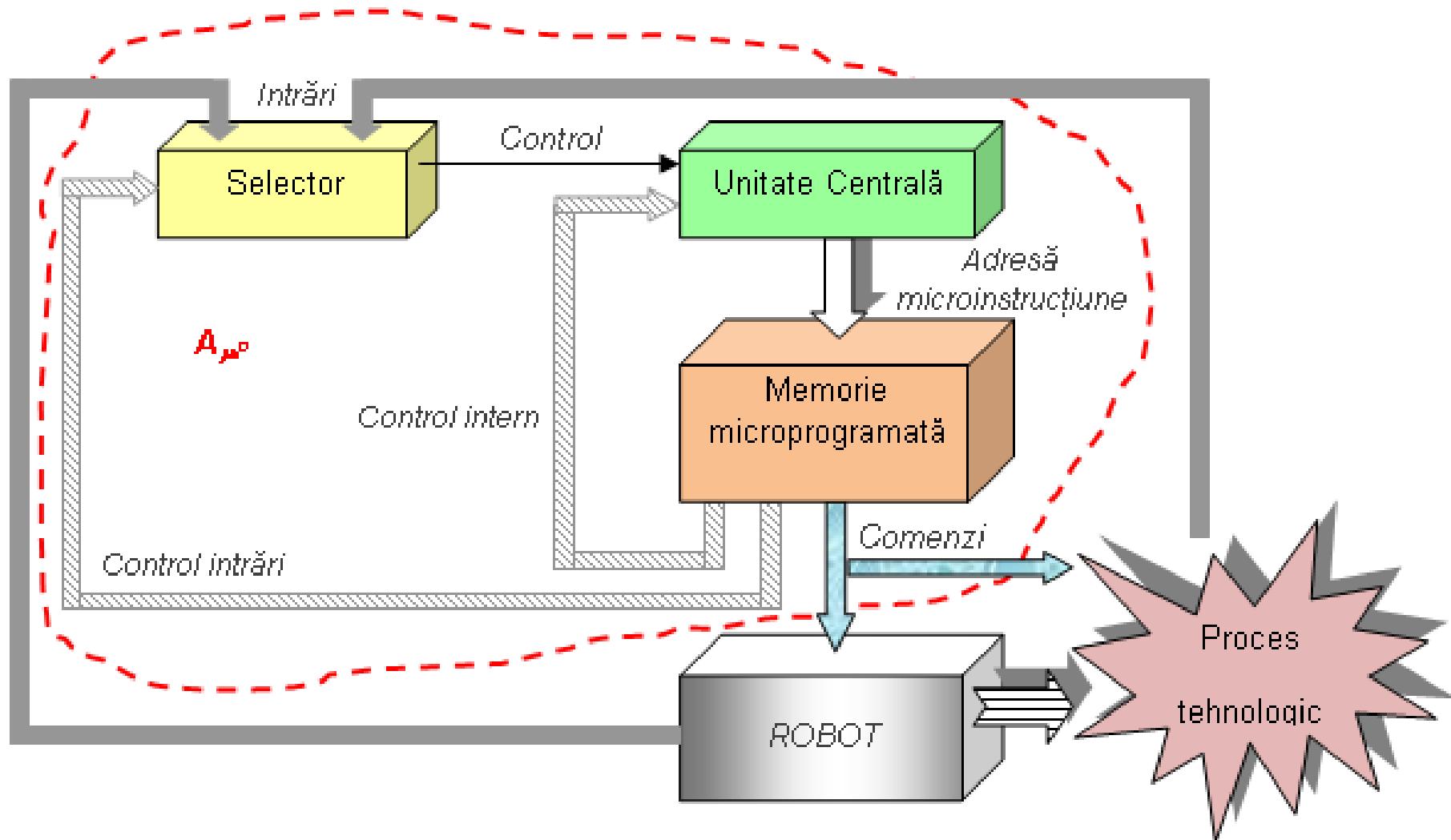


Figura 2.27 Arhitectură de conducere în logică microprogramată.

## 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată

---

### Trăsături:

- Programul funcțional este insriptionat bit cu bit în memoria internă, sub forma unor **microinstructiuni**
- Memoria internă este cel mai adesea de tip EPROM, iar introducerea programului funcțional se realizează cu ajutorul unui dispozitiv adecvat numit și **arzător de memorie**
- Numărul și tipul microinstructiunilor crează diverse facilități în programare:
  - Se poate demonstra faptul că **folosind numai 5 tipuri de microinstructiuni poate fi implementată orice diagramă de stări** aferentă unei funcționări
  - Prezența altor microinstructiuni suplimentare (în afara setului minimal) are deci rolul de a ușura considerabil sarcina programatorului

## 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată

---

### Trăsături (continuare):

- **Orice microinstructiune disponibilă are un format prestabilit** care cuprinde mai multe **câmpuri**, fiecare cu un anumit număr de biți alocați.
  - Așa cum prezintă Fig. 2.27, prezența a cel puțin **3 câmpuri (control intern, control intrări și comenzi)** este necesară.
- Selectia microinstructiunii care urmează a fi extrasă din memorie este realizată cu ajutorul unei **unități centrale**.
  - Selectia este determinată atât de **controlul intern** exercitat de microinstructiunea curentă cât și de **controlul extern** exercitat de un **selector al intrărilor**, aflat la rândul său tot sub controlul microinstructiuni curente.

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

### Trăsături:

- Funcție de tipul automatului, performanțele robotului pot fi variabile, dar în general nu depășesc gama aplicațiilor care solicită **un control de tipul punct cu punct**.
- Sistemul de conducere poate fi asigurat de oricare dintre **categoriile existente de automate programabile**:
  - **Cu procesare scalară**
  - **Cu procesare vectorială**
  - **Cu structură biprocesor (scalar / vectorial)**

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

### Automate programabile cu procesare scalară

- Au numai de **seturi restrânse de instrucțiuni logice**, cu care se pot face programe funcționale simple (cicluri simple de manipulare)

### Automatele programabile cu procesare vectorială

- Realizează **suplimentar și anumite operații aritmetice**, deci permite programe funcționale robot mai complexe, integrarea mult mai facilă a unor senzori numerici (de poziție etc.)

### Automatele programabile biprocesor

- Sunt **structuri mixte, care conțin atât un automat scalar cât și unul vectorial**, cuplate însă prin aceleași magistrale interne comune (**date, adrese și control**)
- Devine posibilă **procesarea paralelă** (scalară și vectorială), precum și coordonarea lor prin schimburi interne de mesaje pe magistrale, ceea ce conduce la un spor evident de flexibilitate în programare și de viteză în execuția unui program.

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

### Trăsături:

- Programarea robotului se bazează pe setul standard de instrucțiuni ale automatului și se realizează folosind o **consolă de programare**
  - După ce programul este finalizat și testat, acesta se transferă în **memoria program**, consola putând fi detasată
- **Flexibilitatea acestor arhitecturi** rezidă din însăși flexibilitatea oricărui automat programabil:
  - **Flexibilitate hardware:** din setul standard de module oferite de producător pot fi selectate ca tip și număr cele care corespund aplicației robotizate, cuplarea fiind realizată prin magistralele interne standardizate ale automatului (date, adrese, control)
  - **Flexibilitatea software:** rezidă din setul de instrucțiuni disponibil dar și din posibilitatea relativ facilă de modificare și stocare în memoria program a unui program realizat anterior

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

Figura următoare prezintă un sistem de conducere robotic cu o arhitectură tipică bazată pe **un automat programabil  $A_{AP}$  cu procesare scalară**.

- **Efectuează numai operații logice și utilizează operanzi scalari de un bit** (deci magistrala de date va avea lățimea de un singur bit)
- Prezența a mai multor blocuri specializate funcțional și cuplate prin magistrale interne unice este o dovedă de evoluție față de arhitecturile microprogramate, prezentate anterior
- **Memoria program  $MP$** , de tip EPROM, este suportul programului funcțional pe timpul execuției programului robot.
  - **Lățimea  $MP$**  = numărul de biți existenți în structura tuturor instrucțiunilor logice recunoscute de automat
  - **Lungimea  $MP$**  = numărul maxim de instrucțiuni care pot fi incluse într-un program (uzual 2 - 16K instrucțiuni, uneori mai mult)
- Memoria program este înscrisă cu programul robot folosind **o consolă de programare** care are un spațiu identic de memorie (dar de tip RAM) și care substituie integral  $MP$  pe toată durata editării și testării programului.
  - După finalizarea programului (sub aspectul editării și verificărilor funcționale preliminare), consola permite transferul acestuia în  $MP$  și este detașată de la automatul programabil.

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

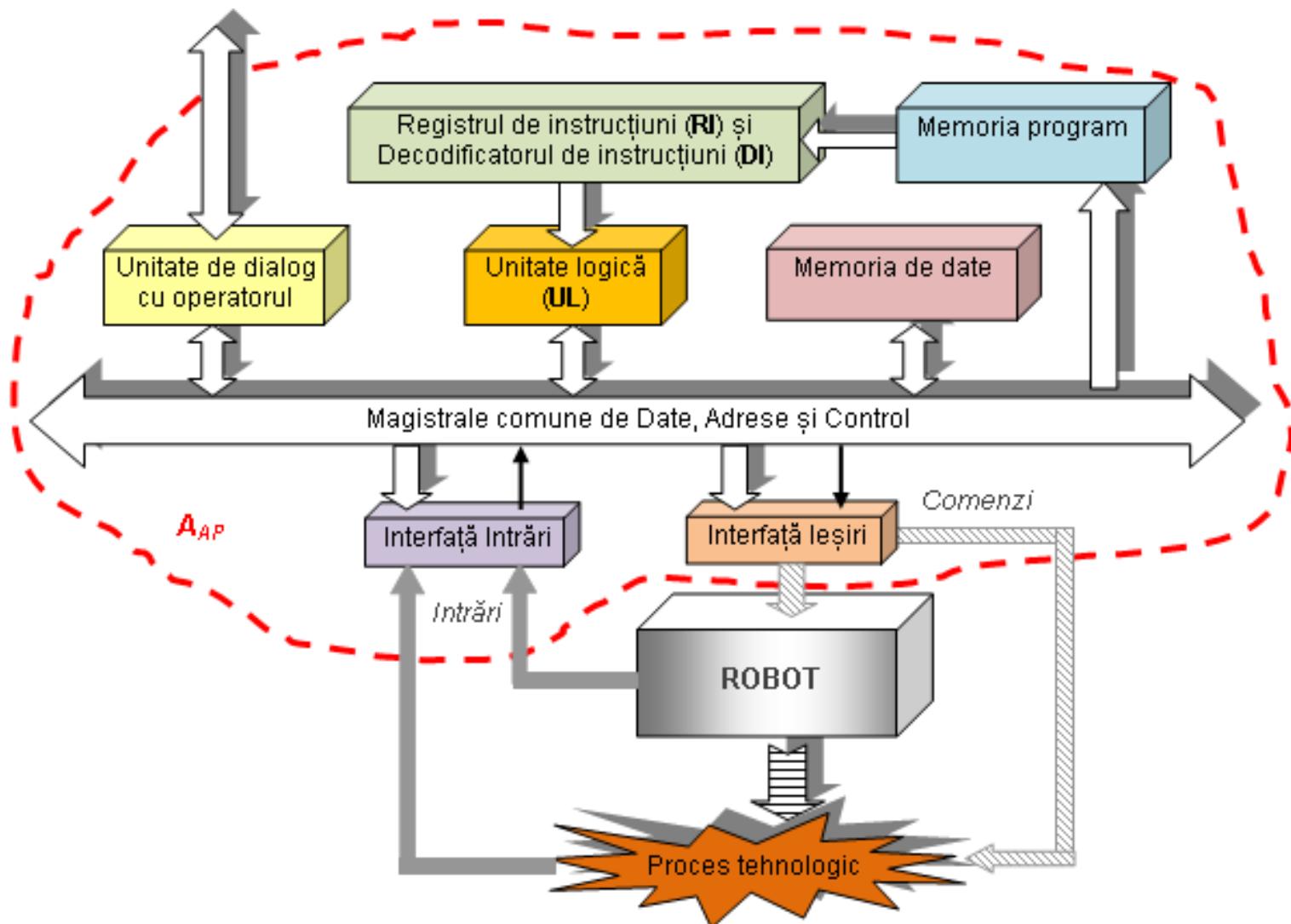


Figura 2.28 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil cu procesare scalară.

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

### FUNCȚIONARE:

- **Instrucțiunea curentă**, extrasă din memorie, este transferată în **registrul de instrucțiuni (RI)**
- **Decodificatorul de instrucțiuni (DI)** analizează bit cu bit fiecare câmp predefinit al instrucțiunii și elaborează toate comenziile interne necesare automatului să o execute
  - Comenzi sunt transferate prin intermediul **magistralei de control** către toate blocurile componente ale automatului implicate de execuția instrucțiunii curente
- **Unitatea logică (UL)** realizează prelucrarea logică asupra operandului specificat prin adresa sa
- **Memoria de date (MD)** are rolul de a asigura stocarea intermedieră a operandului pe parcursul funcționării, de a realiza "imagini" ale tuturor intrărilor și ieșirilor scalare ale automatului la un moment de timp etc.
  - Deoarece la automatele programabile scalare operanții și datele sunt reprezentate pe un singur bit, și lățimea acestei memorii este tot de un bit

## 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil

---

### **FUNCȚIONARE** (continuare):

**Cuplarea  $A_{AP}$  cu aplicația robotizată** se realizează prin intermediul unei **interfețe de intrări** și a unei **interfețe de ieșiri**

- Acestea includ pe fiecare canal (după caz) circuite specialized care asigură:
  - ✓ Separarea galvanică (cu optocuplori, pentru protecție)
  - ✓ Formatarea semnalelor la cerințele specifice:
    - filtrarea paraziților de natură electrică
    - îmbunătățirea fronturilor de comutăție prin triggerare
    - translația nivelurilor de tensiune pentru compatibilitatea reciprocă automat – proces
    - amplificarea în putere etc.
  - ✓ Alte performanțe sau cerințe specifice.

## Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot

### 2.1 Componentele sistemului robot

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările
- 2.1.2 Sursa energetică
- 2.1.3 Spațiul de operare
- 2.1.4 Programul funcțional
- 2.1.5 Sistemul de conducere

### 2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali

### 2.3 Generarea unei traекторii elementare

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă

### 2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

## 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor

---

### Trăsături:

- Figura următoare prezintă o arhitectură tipică de conducere  $A_{\mu P}$  de acest tip
- Se remarcă:
  - organizarea modulară cunoscută (unitate centrală, ROM cu programele de conducere pentru robot, memorie RAM)
  - cuplarea internă prin magistrale unice de date, adrese și control
- Cuparea fizică a robotului și a aplicației se realizează printr-o interfață de intrări și a unei interfețe de ieșiri (ambele cu canale logice și analogice)
- Arhitectura dispune și de alte interfețe specializate:
  - interfață pentru cuplarea la un calculator central (care facilitează dialogul om-robot și obținerea unor informații generale asupra stării curente a robotului sau a aplicației în ansamblul său)
  - interfață pentru cuplarea **consolei operator**

## 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor

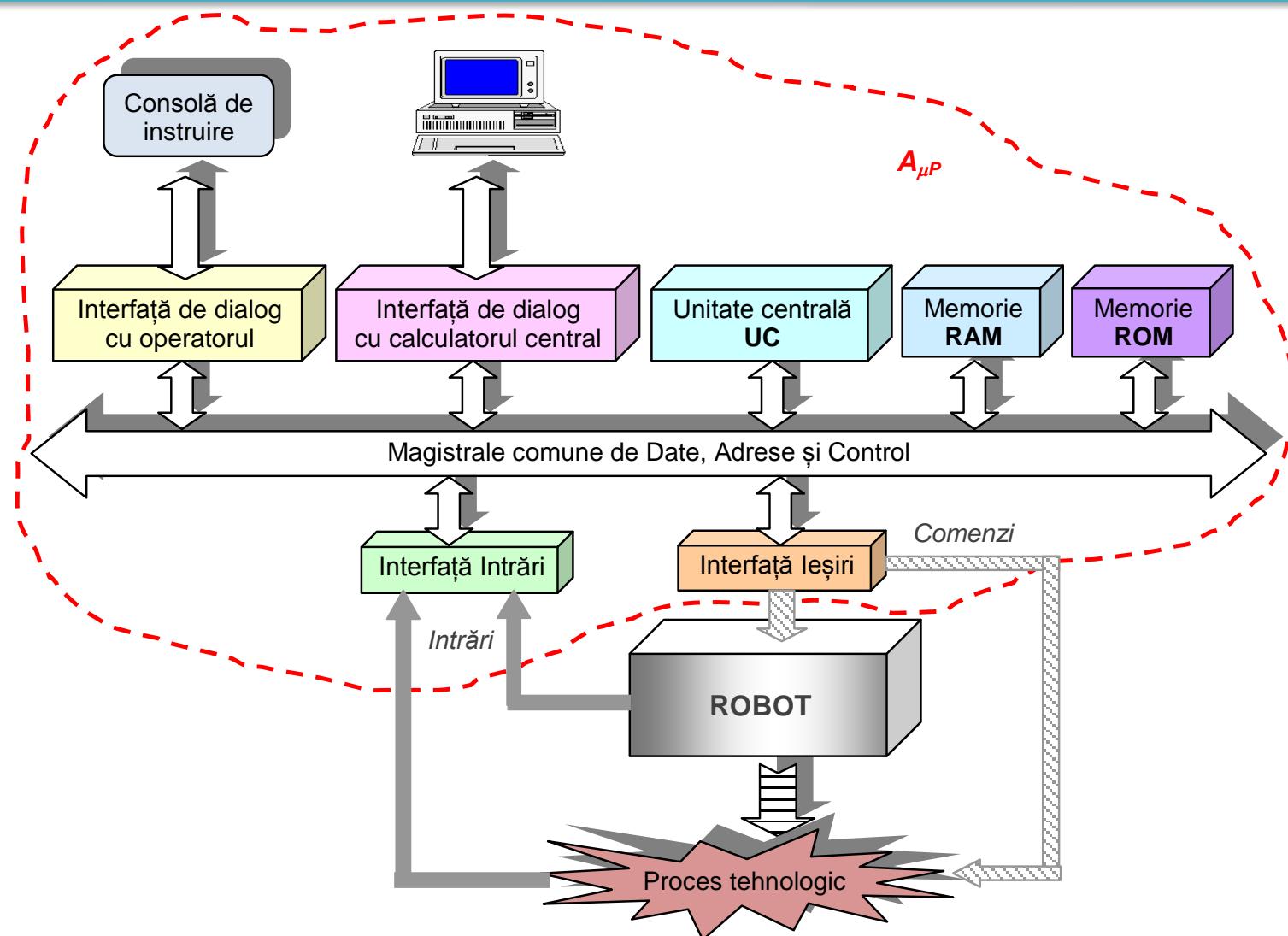


Figura 2.29 Arhitectură de conducere bazată pe un microprocesor.

## **Capitolul 2. Configurația generală a unui sistem robot**

### **2.1 Componentele sistemului robot**

- 2.1.1 Structura mecanică și acționările**
- 2.1.2 Sursa energetică**
- 2.1.3 Spațiul de operare**
- 2.1.4 Programul funcțional**
- 2.1.5 Sistemul de conducere**

### **2.2 Probleme generale în conducerea roboților industriali**

### **2.3 Generarea unei traекторii elementare**

- 2.3.1 Sistem centralizat de conducere**
- 2.3.2 Sistem descentralizat de conducere**
- 2.3.3 Sistem de conducere bazat pe compliantă**

### **2.4 Arhitecturi pentru sistemele de conducere**

- 2.4.1 Arhitectură de conducere în logică cablată**
- 2.4.2 Arhitectură de conducere în logică microprogramată**
- 2.4.3 Arhitectură de conducere bazată pe un automat programabil**
- 2.4.4 Arhitectură de conducere cu microprocesor**
- 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor**

## 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

---

### Trăsături:

- Figura următoare prezintă o organizare tipică simplificată  $A_{MP}$  a unei astfel de arhitecturi
- O arhitectură multiprocesor are întotdeauna **o organizare ierarhizată** și se caracterizează prin **execuția paralelă a mai multor sarcini** (sau **task-uri**) care sunt distribuite individual diferitelor niveluri
  - **Un procesor Master** coordonează întreaga structură și rulează algorimii aferenți interfațării operator-robot precum și a strategiei generale de funcționare a sistemului robot.
  - Pe nivelul inferior sunt **mai multe procesoare Slave**, care realizează în paralel anumite sarcini specifice sub directa coordonare a procesorului Master:
    - ✓ Câte un procesor pentru controlul fiecărei articulații robot
    - ✓ Procesor pentru tratarea informațiilor senzoriale exteroceptive captate din aplicație și de la dispozitivele auxiliare
    - ✓ Procesor pentru controlul terminalului robot
    - ✓ Procesor alocat recunoașterii obiectelor din scena de operare, etc.

## 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

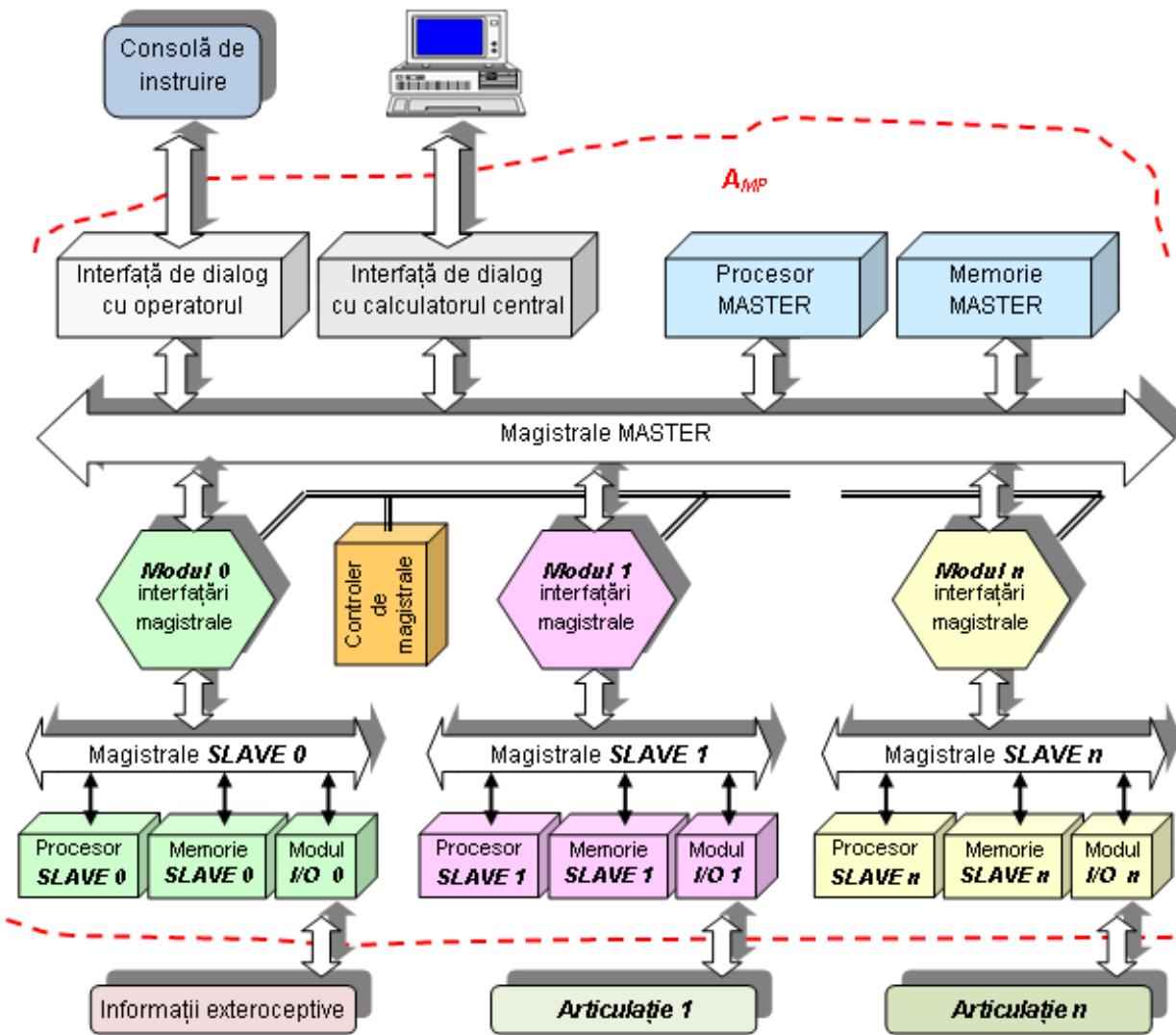


Figura 2.30 Arhitectură de conducere multiprocesor.

## 2.4.5 Arhitectură de conducere multiprocesor

---

### Trăsături:

- Toate procesoarele *Slave* își realizează în paralel activitățile, fiecare coordonând integral numai acțiunea care îi este repartizată
- Procesorul *Master* transmite fiecărui procesor *Slave* comenzi strategice ce-i revin și recepționează periodic mesaje asupra îndeplinirii obiectivelor specifice și a eventualelor erori apărute
  - Conceptual, acest schimb multiplu de mesaje se realizează prin **tehnica căsuțelor poștale** plasate în anumite zone predefinite ale memoriei *Master* și a memoriilor *Slave*.
- Un rol important într-un sistem de conducere de acest tip revine **controlerului de magistrale**.
  - El asigură cuplarea magistralei *Master* cu diferențele magistrale *Slave* în condiții de siguranță funcțională, regimuri de prioritate și corectitudine a datelor vehiculate
- Prin funcționarea specifică de tip **multitasking**, această arhitectură evoluată asigură suportul hardware necesar sistemelor de conducere robotice extrem de complexe

• **END**

- **ANUL VIITOR de scos partea pentru SCR**

