

# **Roboti industriali, sisteme și tehnologii de fabricație robotizată**

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**Roboți industriali, sisteme și tehnologii de fabricație robotizată /**

Adrian Nicolescu, Tiberiu Dobrescu, Andrei Ivan, ... - București :

Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, 2011

ISBN 978-606-8371-48-1

I. Nicolescu, Adrian Florin

II. Dobrescu, Tiberiu Gabriel

III. Ivan, Andrei

621.865.8

**Editura Academiei Oamenilor de Știință din România**

**Adresa:** Splaiul Independenței, nr. 54, sectorul 5, cod 050094 București, România

**Redactor:** ing. Mihail CĂRUȚAȘU

**Tehnoredactor:** prof. Andrei PETRESCU

**Documentarist:** ing. Ioan BALINT

**Coperta:** ing. sist. Adrian Nicolae STAN

**Copyright © Editura Academiei Oamenilor de Știință din România,  
București, 2011**

**Adrian Nicolescu    Tiberiu Dobrescu    Andrei Ivan**  
**Cezara Avram        Stelian Brad        Ioan Doroftei**  
**Sanda Grigorescu**

**Roboti industriali,  
sisteme și tehnologii  
de fabricație robotizată**



**Editura Academiei Oamenilor de Știință din România**

**București**

**2011**



# **PREFAȚĂ**

Sculele, dispozitivele, mașinile-unelte sau de lucru și, în general, toate sistemele tehnice pot fi caracterizate din punct de vedere al evoluției ca fiind continuu perfecționabile pentru a putea răspunde în condiții optime următoarelor exigențe:

- utilitate;
- autonomie în funcționare;
- universalitate în exploatare.

**Utilitatea** a impus inițial diversificarea sistemelor tehnice puse la dispoziția operatorului uman. Ulterior, ea a condus la extinderea preocupărilor proiectanților pentru o concepție din ce în ce mai perfecționată a acestor sisteme, astfel încât, prin creșterea funcționalității, ele să răspundă în condiții optime scopului pentru care au fost concepute.

**Autonomia funcțională** a apărut odată cu introducerea primelor sisteme de automatizare ce suplinesc acțiuni ale operatorului uman. Ea se reflectă în existența unui anumit grad de automatizare a sistemului și, corelativ cu acesta, în echiparea lui cu un anumit tip de sistem de comandă.

**Universalitatea în exploatare** constituie rezultatul studiilor dezvoltate de proiectanți în domeniul extinderii posibilităților tehnologice ale unui anumit sistem tehnic. De aceea, din punct de vedere al concepției acestor sisteme, ea constituie, în primul rând, o problemă de analiză a structurii acestora (a subsistemelor, ansamblurilor, subansamblurilor și elementelor lor componente). Ulterior acestei etape se urmărește, în principal, sinteza optimală a sistemului analizat astfel încât el să poată fi ușor reconfigurat și deci să satisfacă diferite cerințe tehnologice care apar în exploatare.

După cum se poate constata, în particular, și **“roboții industriali”** (RI) răspund celor trei exigențe majore, ei constituind sisteme tehnice cu acționare proprie, o structură mecanică adaptabilă diferitelor funcționalități, o autonomie funcțională dependentă de tipul sistemului de comandă și un grad de universalitate operațională ridicat.

Termenul de **“robot”** este de origine slavă, el fiind utilizat pentru prima oară în 1921 în textul unei piese a autorului ceh Karel Capek (*“Rossum’s Universal Robots”*). Prin acest termen erau definite *“ființe artificiale”* cu aspect antropomorf ce executau, cu productivitate ridicată, activități specifice operatorilor umani.

Ulterior, termenul a fost preluat în literatura S.F., de către scriitorul american de origine rusă Isaac Asimov, care l-a dezvoltat (în lucrarea *“I, Robot”* publicată în 1950) până la nivelul roboților cu inteligență artificială. El a enunțat și cele trei legi fundamentale ale acțiunilor unui robot:

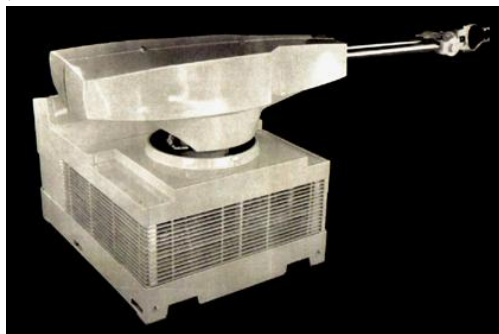
- 1. Un robot trebuie să nu dăuneze cu nimic ființei umane, fie în mod direct, fie prin inactivitate.**
- 2. Un robot trebuie să execute comenzile primite din partea omului, cu excepția celor ce contravin primei legi.**
- 3. Un robot trebuie să-și protejeze propria existență cu excepția cazurilor ce contravin legilor nr.1 și 2.**

În ceea ce privește însă **“roboții industriali”** prima cerere de brevet de invenție îi aparține inventatorului Cyril Walter Kenward și a fost depusă în Anglia în anul 1954,

brevetul fiind acordat în anul 1957 dar fără însă a fi urmat și de aplicarea industrială a acestuia.

Tot în anul 1954 un inventator american, George C. Devol, depune în SUA un brevet referitor la concepția unui robot în coordonate polare sferice cu acționare hidraulică. Ulterior, Joseph Engelberger, (denumit frecvent și „părintele roboticii”), cumpără în anul 1956 licența de aplicare industrială a brevetului lui Devol și înființează în SUA compania Unimation Inc., companie ce devine astfel primul producător mondial de roboți industriali. În baza brevetului inițial, până în anul 1960 se dezvoltă de către Devol în cadrul acestei companii și primul prototip de robot industrial model Unimate. Varianta acestui prototip, perfecționat ulterior până în anul 1961, va deveni astfel primul robot industrial performant, în coordonate polare sferice cu acționare hidraulică model “Unimate”.

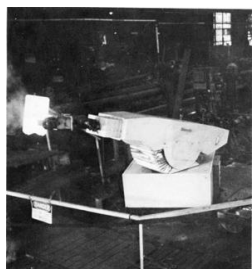
Începând cu anul 1961, când se acordă în SUA brevetul solicitat de Devol, Joseph Engelberger trece la implementarea industrială a roboților realizați de către Unimation Inc. prima aplicație robotizată cu roboți Unimate fiind realizată în cadrul companiei Ford Motors Company pentru descărcarea unei mașini de injecție în matriță și stocare ordonată a reperelor.



**Robotul industrial Unimate (1961)**



**Robotul industrial Versatran (1961)**



**Prima aplicație robotizată (1961)**



**Prima linie de fabricație robotizată (1969)**

În ceea ce privește utilizarea la scară industrială a roboților Unimate, trebuie precizat și faptul că în mod similar celor expuse anterior, un model de robot Unimate a fost introdus în procesul de producție (mai întâi cu titlu experimental începând cu 1959) într-o celulă de sudare în puncte robotizată la firma General Motors, și-a extins gradual utilizarea, astfel încât începând cu anul 1969 acest model de RI poate fi regăsit în prima linie tehnologică flexibilă de sudare în puncte a caroseriilor automobilelor model „Chevrolet Vega”, instalată la Lordstown-SUA. În cadrul acestei linii de fabricație flexibilă, 26 de roboți Unimate realizau 90% din operațiile de sudare în puncte a caroseriilor modelului Chevrolet Vega,

executând 520 puncte de sudură pe fiecare caroserie, lucru ce permitea încă de la începutul exploatării ieșirea de pe linia de sudare a unei caroserii la fiecare 36 secunde (cea mai rapidă rată de fabricație a automobilelor existentă la acea dată la nivel mondial).

Trebuie însă subliniat și faptul că, în paralel cu dezvoltarea roboților Unimate, Harry Johnson și Veljko Milenkovic din cadrul companiei American Machine and Foundry cunoscută ulterior ca AMF Corporation, încep în 1960 activitatea de concepție a primului robot industrial în coordonate cilindrice, pe care îl vor lansa însă pe piață sub denumirea „Versatran” abia în anul 1963.

Câteva alte repere importante în evoluția roboților industriali pot fi precizate succint ca fiind de asemenea referitoare la anii:

1963 – realizarea primului robot pentru paletizare de către firma japoneză Fuji Yusoki Kogyo

1966 - firma Trallfa (Norvegia) dezvoltă în anul 1966 primul robot industrial pentru vopsire prin pulverizare,

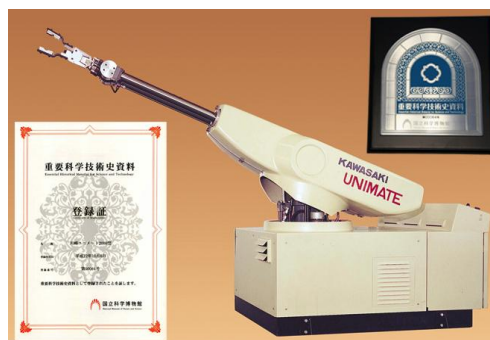
1967 – firma Tokyo Machinery Trading Company din Japonia importă roboți Versatran de la compania AMF (primele modele de roboți importate în Japonia)

1968 – firma Kawasaki cumpără licența de fabricație a roboților Unimate de la firma Unimation și începe producția de roboți de acest tip în Japonia

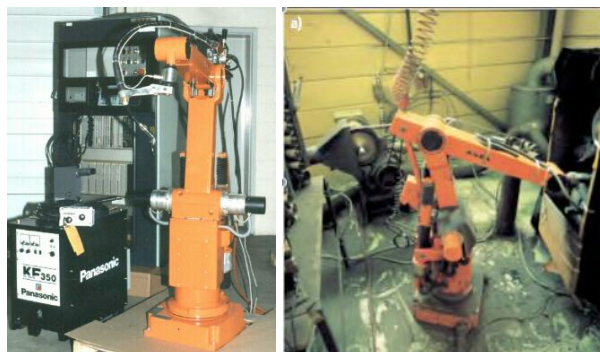
1972 - firma Kawasaki instalează prima linie de asamblare robotizată a automobilelor Nissan, în Japonia, utilizând roboți furnizați din SUA de către Unimation, Inc.



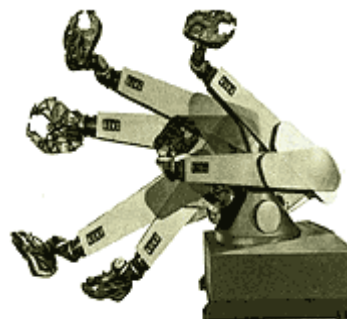
Robotul Tralffa (1966)



Robotul Versatran Kawasaki – Unimate (1968)



Robotul ASEA IRB 6 (1972)



Robotul KUKA (1973)



**Robotul Cincinnati  
Milacron T3 (1974)**



**Robotul Hirata  
AR 300 (1978)**



**Robotul PUMA (1979)**

1973 – firma ASEA Group of Vasteras, Suedia lansează pe piață primele versiuni de RI cu 5 grade de libertate cu acționare integral electrică IRb 6 și IRb 60 destinate realizării de operații de șlefuire polizare, tot în anul 1973 fiind raportată în Suedia și intrarea în funcțiune a primei linii tehnologice robotizate de sudare cu arc electric la firma ESAB în care erau incluși roboți de fabricație indigenă (model IR-b ASEA)

1973 – firma KUKA (Germania) lansează pe piața primele versiuni de RI cu 6 grade de libertate cu acționare integral electrică

1974 - firma Cincinnati Milacron (SUA) lansează pe piață modelul de robot T3, (prima versiune comercială de RI cu sistem de comandă prin minicomputer

1979 – se lansează pe piață primele modele de RI PUMA (Programmable Universal Assembly) dezvoltate de către Unimation Inc. pentru General Motors

1979 – firmele Hirata (Japonia) and IBM (SUA) lansează pe piață roboții de tip SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm) dezvoltate de către Universitatea Yamanashi din Japonia

Spre finalul anilor '70 firma Unimation își vinde ultimele licențe de modele noi de RI firmelor [Kawasaki Heavy Industries](#) și [Guest-Nettlefolds](#), care încep să producă roboții [Unimate](#) în Japonia și Anglia.

Japonia, deși cumpără primele licențe de roboți din SUA, va deveni astfel începând cu 1980 prin investiții masive făcute de către marile corporații financiare și industriale japoneze liderul mondial al producției de RI și primul producător de roboți “autoadaptivi” și respectiv “inteligenți”.



# CUPRINS

## CAPITOLUL 1. TIPOLOGIA ȘI CARACTERISTICILE ROBOȚILOR INDUSTRIALI

<b>1.1 Definiția roboților industriali</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2. Tipologia roboților industriali. Criterii de clasificare. Sisteme de coordonate pentru generarea spațiului de lucru. Modele constructive de bază și particularitățile constructive ale acestora</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3. Conceptul sistemic unitar de RI integrat în mediul tehnologic</b> .....	<b>25</b>
1.3.1. Structura sistemului “Robot Industrial Integrat în Mediul tehnologic” .....	25
1.3.2 Specificul constructiv, structura și funcțiile unității operaționale și unității informaționale a RI. Tehnici de programare și comandă uzuală. Modelul funcțional complet al RI. Principiul de funcționare al RI.....	28

## CAPITOLUL 2. SISTEME DE ACȚIONARE ȘI COMANDĂ A ROBOȚILOR INDUSTRIALI

<b>2.1. Sisteme de acționare a RI</b> .....	<b>33</b>
2.1.1. Caracteristici generale ale sistemelor de acționare utilizate la roboții industriali .....	33
2.1.2. Categoriile de motoare utilizabile pentru acționarea roboților industriali. Specificul exploatarei, avantaje / dezavantaje și limite în exploatare caracteristice sistemelor de acționare electrică / pneumatică / hidraulică.....	34
2.1.3. Concepția specifică a RI. Soluții constructive uzuale de RI cu acționare electrică, pneumatică și hidraulică .....	36
2.1.3.1. Considerații privind amplasarea motoarelor electrice de acționare a Roboților industriali .....	36
2.1.3.2. Considerații privind amplasarea motoarelor hidraulice / pneumatice de acționare a roboților industriali .....	42
2.1.4. Tipuri de motoare electrice utilizate la acționarea roboților industriali ....	44
2.1.5. Caracterizare constructiv - funcțională a motoarelor electrice fără perii utilizate pentru acționarea roboților industriali .....	45
2.1.5.1. Servomotoare de c.c. fără perii, autopilotate.....	45
2.1.5.2. Motoare de tip “direct drive” utilizate pentru acționarea roboților industriali .....	55
2.1.5.2.1. Motoare de tip “direct drive” cu rotor inelar .....	55
2.1.5.2.2. Motoare electrice lineare.....	58
<b>2.2 Noțiuni fundamentale privind structura și specificul exploatarei axelor comandate numeric ale RI</b> .....	<b>61</b>
2.2.1. Aspecte generale privind structura axelor comandate numeric ale RI .....	61
2.2.1.1. Aspecte specifice privind traductoarele de poziție și viteză incluse în axele comandate numeric ale RI.....	62
2.2.1.2. Structura modulară și funcțiile variatorului electronic de turație.....	65
2.2.1.2.1. Sisteme motor-variator produse de firma SIEMENS	

2.2.1.3. Integrarea sistemului de acționare motor–variator electronic de turație în ACN în circuit închis de la RI cu sisteme de comandă a mișcărilor de tip comandă pe traiectorie .....	71
2.2.2. Specificul structurii ACN ale RI cu sisteme de comandă de poziționare și pe traiectorie. Modalități specifice de comandă și control a poziției / vitezei elementelor mobile pe ACN ale Roboților Industriali .....	73
2.2.2.1. Integrarea sistemului de acționare motor–variator electronic de turație în structura axelor comandate numeric în circuit închis conduse cu sisteme de comandă în poziție .....	74
2.2.2.2. Exemple de ACN în circuit închis integrate RI cu sisteme de comandă a mișcărilor de tip comandă de poziționare și achiziție continuă a informației de poziție.....	77
<b>CAPITOLUL 3. TEHNOLOGII ȘI SISTEME DE FABRICAȚIE ROBOTIZATĂ</b>	
<b>3.1. Utilizarea RI în aplicații de paletizare .....</b>	<b>83</b>
3.1.1. Operația de paletizare.....	83
3.1.2. Specificul constructiv-funcțional al end-efectorilor utilizați pentru paletizare .....	84
3.1.3. Specificul constructiv funcțional al RI dedicați operațiilor de paletizare .....	87
3.1.4. Specificul concepției și exploatării celulelor și sistemelor robotizate de paletizare .....	89
3.1.4.1. Aplicație robotizată pentru paletizarea unui singur tip de produs, cu un singur conveior de aprovizionare și un conveior de ieșire a produselor paletizate .....	90
3.1.4.2. Aplicație robotizată cu un singur conveior de aprovizionare și două conveioare de paletizare.....	90
3.1.4.3. Aplicație robotizată pentru paletizarea a trei tipuri de produse și un singur conveior de paletizare .....	91
3.1.4.4. Aplicație robotizată cu trei conveioare de aprovizionare și trei conveioare de paletizare.....	91
3.1.4.5. Scheme bloc de baza pentru recomandate pentru aplicații robotizate de paletizare .....	92
3.1.5.Exemple de sisteme de paletizare realizate de către diferiți producători ..	94
3.1.5.1. CFF cu 1 intrare și 1 ieșire pentru paletizat cutii de carton.....	94
3.1.5.2. CFF cu 2 intrări și 2 ieșiri pentru paletizat cutii de carton .....	95
3.1.5.3. CFF cu 1 intrare și 1 ieșire pentru paletizat saci cu materiale vrac .....	95
3.1.5.4. CFF complexe cu 1 intrare și 1 ieșire pentru paletizat cutii de carton ..	95
<b>3.2 Utilizarea RI în sisteme de fabricație pentru injecție de mase plastice / aliaje usoare în matriță.....</b>	<b>97</b>
3.2.1. Tipuri de procedee tehnologice utilizate în modelarea maselor plastice .....	97

3.2.1. Specificul procesului tehnologic și mașinilor de realizare a reperelor din mase plastice prin injecție în matriță.....	98
3.2.1.1. Procesul tehnologic .....	99
3.2.1.2. Sistemele de alimentare cu material plastic vrac (granule) .....	100
3.2.1.3. Mașinile de injecție .....	100
3.2.1.4. Tipurile de mașini de injecție .....	101
3.2.2. Modalități de automatizare a procesului de injecție .....	103
3.2.2.1. Descarcarea automatizată a reperelor obținute prin injecție de mase plastice în matrițe.....	103
3.2.3. Celule de fabricație integrate în procesele de formare prin injecție a maselor plastice.....	105
3.2.3.1. Structura generală a celulei de fabricație.....	106
<b>3.3. Utilizarea RI pentru realizarea operațiilor de vopsire .....</b>	<b>108</b>
<b>3.4. Implementarea RI în aplicații de sudare robotizată cu arc electric .....</b>	<b>121</b>

#### **CAPITOLUL 4. ANALIZA STRUCTURII ȘI FUNCȚIILOR SISTEMELOR DE CONDUCERE A ROBOȚILOR INDUSTRIALI**

<b>4.1 Cerințe generale impuse sistemelor de conducere (programare și comandă) a roboților industriali.....</b>	<b>131</b>
<b>4.2 Corelarea sistemului de conducere a roboților industriali cu generația acestora .....</b>	<b>132</b>
<b>4.3 Subsisteme și funcții specifice ale sistemului de conducere a roboților industriali.....</b>	<b>133</b>
4.3.1. Subsistemul de comandă a mișcărilor de ansamblu ale RI.....	134
4.3.2. Subsistemul de prelucrare a informațiilor furnizate de către senzori .....	136
4.3.3. Subsistemul de decizie .....	137
4.3.4. Subsistemul de comunicare cu operatorul uman și programare a RI .....	138
<b>4.4. Tendințe manifestate actual în realizarea sistemelor de conducere a roboților industriali .....</b>	<b>140</b>

<b>4.5. Tehnici moderne de programare a roboților industriali.....</b>	<b>160</b>
4.5.1. Aspecte generale.....	160
<b>4.6. Programarea și simularea off line a roboților industriali .....</b>	<b>162</b>
<b>4.7. Medii de lucru specifice pentru programarea și simularea off line a roboților industriali .....</b>	<b>165</b>
4.7.1. Mediul de lucru KukaSim .....	165
4.7.2. Mediul de lucru Kawasaki PC-Roset .....	165
4.7.3. Mediul de lucru ABB RobotStudio .....	166
4.7.4. Mediul de lucru Fanuc RoboGuide .....	167
<b>4.8. Interfețele utilizator și modul de operare a pachetelor software Kawasaki PC-Roset și ABB RobotStudio .....</b>	<b>167</b>
4.8.1. Mediul de lucru Kawasaki PC-Roset .....	167
4.8.2. Mediul de lucru ABB RobotStudio .....	178
<b>4.9. Elaborarea și testarea programelor prin simulare off line a funcționării roboților industriali .....</b>	<b>185</b>
<b>4.10. Corectarea programelor și implementarea în procesele de producție .....</b>	<b>185</b>
<b>Bibliografie .....</b>	<b>187</b>

# CAPITOLUL 1. TIPOLOGIA ȘI CARACTERISTICILE ROBOȚILOR INDUSTRIALI

## 1.1 Definiția roboților industriali

În ceea ce privește definiția roboților industriali nu există actual un standard internațional universal acceptat. Există însă mai multe norme de standardizare naționale ce definesc în mod diferit roboții industriali:

a) JIS - standard japonez - “Robotul industrial este un sistem mecanic dotat cu funcții motoare analoge celor ale organismelor vii sau care combină asemenea funcții motoare cu funcții inteligente formând un sistem care acționează corespunzător voinței omului. Prin funcție inteligentă se înțelege capacitatea sistemului de a executa cel puțin una din următoarele acțiuni: judecată, recunoaștere, adaptare sau învățare”;

b) DIN - standard german - “Roboții industriali sunt automate mobile, cu mai multe axe comandate numeric, ale căror mișcări sunt liber programate (fără legături mecanice între axe) într-o anumită succesiune a mișcărilor, pe traiectorii simple sau complexe, în anumite cazuri comandabile prin senzori. Ei pot fi echipați cu dispozitive de prehensiune, scule sau alte mijloace de fabricație și pot îndeplini activități de manipulare sau tehnologice”;

c) NFE - standard francez - “Un robot este un mecanism de manipulare automată, aservit în poziție, reprogramabil, polivalent, capabil să poziționeze și să orienteze materiale, piese, scule sau dispozitive specializate, în timpul unor mișcări variabile, programate în scopul executării unor sarcini variate”;

d) GOST - standard rusesc - “Robotul industrial este o mașina automată staționară sau deplasabilă constând din dispozitivul de execuție (manipulatorul), având mai multe grade de libertate, și din dispozitivul reprogramabil de comandă după program pentru îndeplinirea în procesul de producție a funcțiilor motoare și de comandă”.

Așa cum se poate ușor observa, fiecare definiție exprimă un punct de vedere specific fiecărei naționalități de specialiști în robotică, evidențiind, în fapt, aspectele generale sau particulare pe care aceștia le consideră esențiale în studiul roboților industriali.

Având în vedere acest lucru, considerăm utilă și prezentarea unei definiții care să reflecte aspectele esențiale urmărite de specialiștii din țara noastră angrenați în activități de concepție și implementare a roboților industriali în cadrul sistemelor de producție. Astfel, în concepția actuală a acestora, roboții industriali pot fi

definiți ca *“echipamente tehnologice cu funcționare automatizată, flexibilă, adaptabilă prin (re)programare (manuală sau automată) la condițiile unui mediu tehnologic complex (variabil) în care acționează substituind una sau mai multe dintre funcțiile operatorilor umani, pe care îi înlocuiesc în acțiunile acestora asupra mediului tehnologic”*.

## **1.2. Tipologia roboților industriali. Criterii de clasificare. Sisteme de coordonate pentru generarea spațiului de lucru. Modele constructive de bază și particularitățile constructive ale acestora.**

În ceea ce privește clasificarea roboților industriali (RI), trebuie făcută precizarea că deși există și reglementări ISO în acest sens, o serie de asociații sau institute de specialitate, precum și diferite standarde naționale operează cu criterii de clasificare diferite de cele ISO.

Din punct de vedere al **criteriilor de clasificare ISO**, menționăm că acestea sunt referitoare la:

- Sursa principală de putere :
  - pneumatică;
  - hidraulică;
  - electrică.
- Tipul sistemului de comandă a mișcărilor:
  - punct cu punct (PTP - point to point);
  - pe traiectorie continuă (CP - continus path).
- Metode de programare (instruire) a robotului :
  - prin învățare directă (teach-in);
  - prin generare de traiectorie;
  - prin telecomandă;
  - programare off-line.
- Tipurile de senzori folosiți :
  - senzori de proximitate;
  - traductoare de poziție /viteză liniari sau rotativi;
  - senzori având semnale proporționale cu mărimea abaterii (ex.: senzori electromagnetici).

În ceea ce privește criteriile de clasificare utilizate de către diferite standarde naționale / organizații de robotică în mare parte acestea operează cu criterii de clasificare diferite de cele ISO. Per ansamblu se remarcă însă existența în cadrul acestora a câtorva categorii de criterii majore de clasificare a roboților industriali, referitoare în principal la elementele specifice concepției și exploatării roboților industriali ce vizează de regulă:

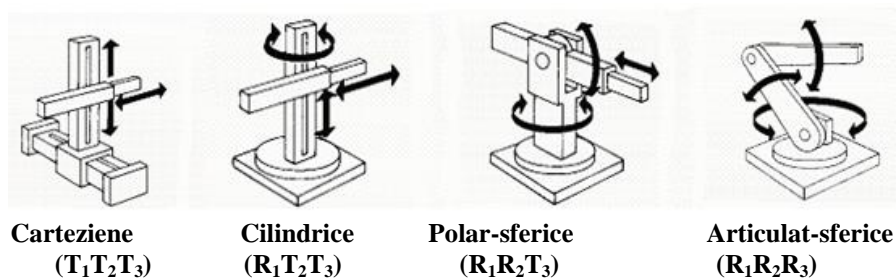
a) sistemul de coordonate programabile pentru poziționarea efectorului RI (forma spațiului de lucru a RI), determinat de numărul, tipul și ordinea de asociere a axelor comandate numeric, (cartezian / rectangular, cilindric / articular –cilindric, polar sferic, articular-sferic, etc.) – *Figura 1.1*)

b) arhitectura generală și varianta constructivă de robot industrial (ex.: robot pistol, turelă, braț articular, portal simplu / dublu etc.) - vezi exemplele de RI prezentate în *Figura 1.2*;

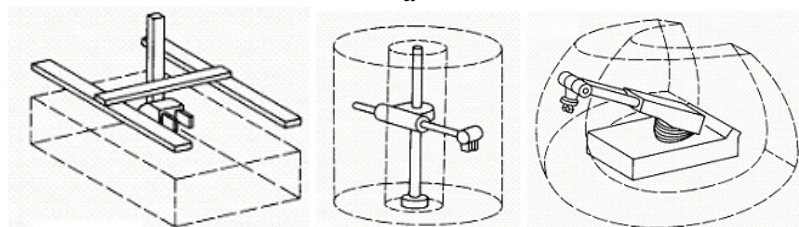
c) tipul echipamentului de comandă (secvențială, de poziționare, pe traiectorie, etc.);

d) tipul sistemelor de acționare (electrică, pneumatică, hidraulică);

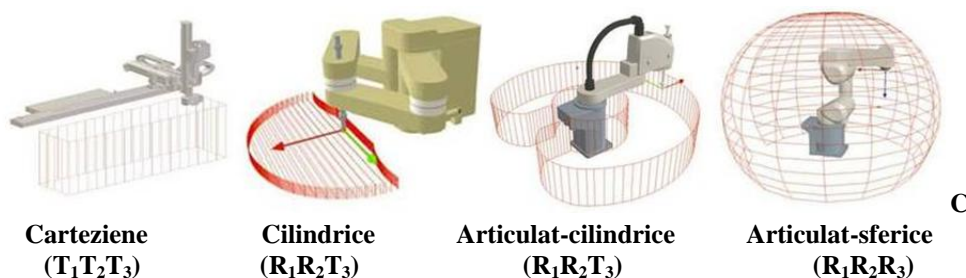
e) sarcina portantă / sarcina maximă manipulată, etc.



a



b

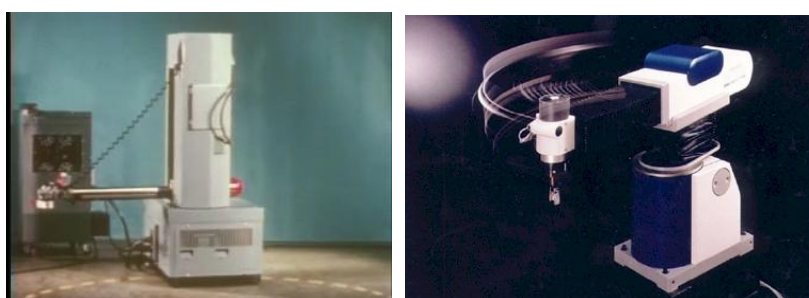


c

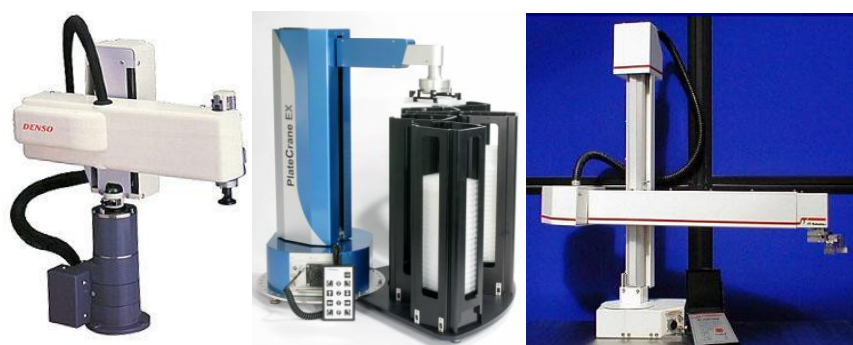
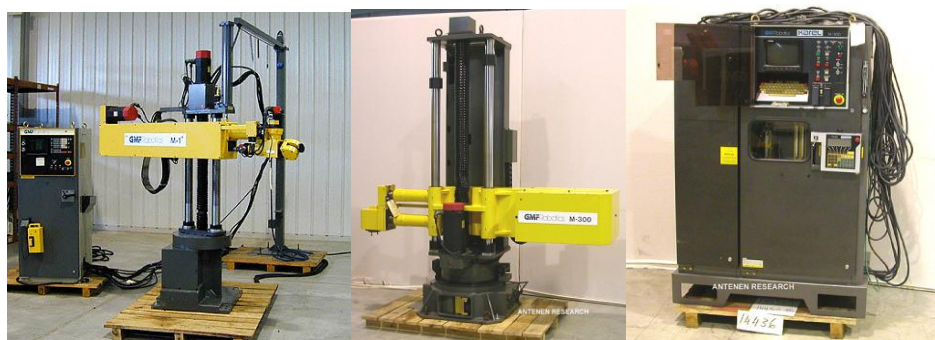
Figura 1.1 : Forma spațiului de lucru a RI



a. Roboți în coordonate polar-sferice cu arhitectură generală de tip „turelă”



b. Roboți în coordonate cilindrice cu arhitectură generală de tip „coloană” și „pistol”



b1. Roboți în coordonate cilindrice cu arhitectură generală de tip „coloană”

Figura 1.2 : Variante constructive de RI

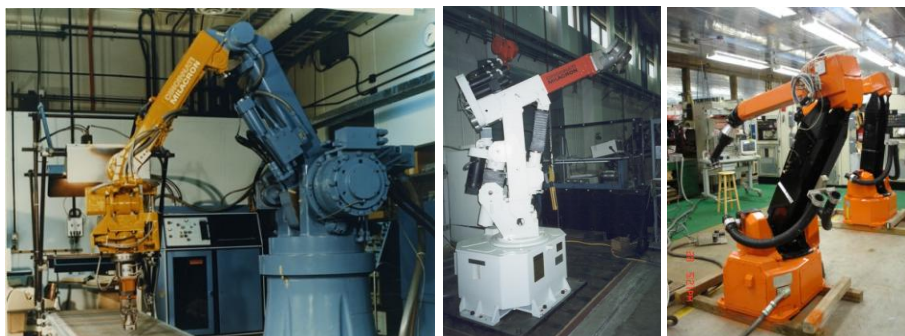




b2. Roboți în coordonate cilindrice cu arhitectură generală de tip „pistol”



c. Roboți în coordonate articulat- sferice cu arhitectură generală de tip „braț articulat”



c1. Roboți în coordonate articulat- sferice cu arhitectură generală de tip „braț articulat” cu simetrie bilaterală și structură cinematică de tip lanț cinematic semiînchis

Figura 1.2 : Variante constructive de RI