

MECCATRONICA

Modulo 10: Robotica

Manuale Esercizi Soluzioni

(concetto)

Petr Blecha
Zdeněk Kolíbal
Radek Knoflíček
Ales Pochylý
Tomas Kubela
Radim Blecha
Tomas Brezina

Università Tecnica di Brno,
Cechia



Concetto europeo per la Formazione Continua in Meccatronica di
personale esperto nella produzione industriale globalizzata

Progetto UE no. 2005-146319 „Minos“, durata dal 2005 al 2007

Progetto UE no. DE/08/LLP-LdV/TOI/147110 „MINOS⁺⁺“, durata dal 2008
al 2010

Il presente progetto è finanziato con il
sostegno della Commissione europea.
L' autore è il solo responsabile di questa
pubblicazione (comunicazione) e la
Commissione declina ogni responsabilità
sull' uso che potrà essere fatto delle
informazioni in essa contenute.

www.minos-mechatronic.eu



DG Istruzione e cultura

Programma di apprendimento
permanente

Partners per la creazione, valutazione e diffusione dei progetti
MINOS e MINOS**.

- Chemnitz University of Technology, Institute for Machine Tools and Production Processes, Germany
- np – neugebauer und partner OhG, Germany
- Henschke Consulting, Germany
- Corvinus University of Budapest, Hungary
- Wroclaw University of Technology, Poland
- IMH, Machine Tool Institute, Spain
- Brno University of Technology, Czech Republic
- CICmargune, Spain
- University of Naples Federico II, Italy
- Unis a.s. company, Czech Republic
- Blumenbecker Prag s.r.o., Czech Republic
- Tower Automotive Sud S.r.l., Italy
- Bildungs-Werkstatt Chemnitz gGmbH, Germany
- Verbundinitiative Maschinenbau Sachsen VEMAS, Germany
- Euroregionala IHK, Poland
- Korff Isomatic sp.z.o.o. Wroclaw, Polen
- Euroregionale Industrie- und Handelskammer Jelenia Gora, Poland
- Dunafer Metallwerke Dunajvaros, Hungary
- Knorr-Bremse Kft. Kecskemet, Hungary
- Nationales Institut für berufliche Bildung Budapest, Hungary
- Christian Stöhr Unternehmensberatung, Germany
- Universität Stockholm, Institut für Soziologie, Sweden

Articolazione del materiale didattico

Minos : moduli 1 – 8 (manuale, soluzioni e esercizi): Conoscenze fondamentali/ competenze interculturale, gestione del progetto/ tecnica pneumatica/ azionamenti elettrici e controlli automatici/ componenti mecatronici/ sistemi mecatronici e funzioni/ attivazione, sicurezza e teleservizio/ manutenzione remota e diagnosi

Minos **: moduli 9 – 12 (manuale, soluzioni e esercizi): Prototipazione Rapida/ robotica/ migrazione/ Interfacce

Tutti i moduli sono disponibili nelle seguenti lingue: tedesco, inglese, spagnolo, italiano, polacco, ceco e ungherese

Per ulteriori informazioni si prega di contattare

Dr.-Ing. Andreas Hirsch

Technische Universität Chemnitz

Reichenhainer Straße 70, 09107 Chemnitz

Tel.: + 49(0)0371 531-23500

Fax.: + 49(0)0371 531-23509

Email: minos@mb.tu-chemnitz.de

Internet: www.tu-chemnitz.de/mb/WerkzMasch oder www.minos-mechatronic.eu

MECCATRONICA

Modulo 10: Robotica

Manuale

(concetto)

Petr Blecha
Zdeněk Kolíbal
Radek Knoflíček
Ales Pochylý
Tomas Kubela
Radim Blecha
Tomas Brezina

Università Tecnica di Brno,
Cechia



Concetto europeo per la Formazione Continua in Meccatronica di personale esperto nella produzione industriale globalizzata

Progetto UE no. 2005-146319 „Minos“, durata dal 2005 al 2007

Progetto UE no. DE/08/LLP-LdV/TOI/147110 „MINOS⁺⁺“, durata dal 2008 al 2010

Il presente progetto è finanziato con il sostegno della Commissione europea. L'autore è il solo responsabile di questa pubblicazione (comunicazione) e la Commissione declina ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute.

www.minos-mechatronic.eu



DG Istruzione e cultura

Programma di apprendimento
permanente

1. STORIA, SVILUPPO E DEFINIZIONE DI ROBOT	1
1.1. DALLE MACCHINE DA SCRIVERE AI ROBOT	1
1.2. DEFINIZIONE DI ROBOT	4
2. LA STRUTTURA DEI ROBOT E DEI MANIPOLATORI INDUSTRIALI (IR&M)	7
2.1. STRUTTURA CINEMATICA DEI ROBOT INDUSTRIALI	7
2.1.1. Sistema di azionamento dei robot industriali stazionari	7
2.1.2. Coppie cinematiche nella costruzione dei robot industriali	8
2.1.3. Robot industriali con cinematica seriale	9
2.1.4. Il problema dell'accuratezza di posizionamento.....	14
2.1.5. Robot industriali a cinematica parallela	16
2.1.6. Veicoli a guida automatica – AGV	18
2.2. ESEMPI DI IR&M RAPPRESENTATIVI DAL PUNTO DI VISTA COSTRUTTIVO	19
2.2.1. Tipologie di base	19
2.2.2. Tipologie di robot industriali derivate.....	20
2.2.3. Tipologie di robot industriali derivati da diverse combinazioni di coppie cinematiche.....	23
3. END-EFFECTORS	25
3.1. Applicazione e classificazione degli end-effectors.....	25
3.2. Teste tecnologiche.....	25
3.3. Teste di manipolazione – grippers	26
3.3.1. Teste combinate.....	35
3.3.2. Teste speciali	36
3.3.3. Forze agenti sugli oggetti afferrati sotto l'azione del moto del robot	37
3.3.4. Sostituzione automatica degli end-effectors.....	40
3.4. DISPOSITIVI PERIFERICI PER IR&M	41
3.4.1. Introduzione, classificazione, finalità.....	41
3.4.2. Classificazione dei PD rispetto alla loro funzione	42
3.4.3. Classificazione dei PD rispetto alle loro caratteristiche costruttive	43
3.4.4. Classificazione dei PD in base al loro ruolo nella cella robotizzata	50
4. CELLE DI LAVORO ROBOTIZZATE.....	52
4.1. Componenti fondamentali di una cella robotizzata.	52
4.2. Controllo delle celle robotizzate	54
4.3. Tipologie di celle robotizzate.....	57
4.3.1. Saldatura.....	57
4.3.2. Manipolazione	59
4.3.3. Verniciatura.....	62
4.3.4. Operazioni tecnologiche.....	63
5. Ambiente di programmazione.....	67
5.1. Introduzione	67
5.2. Programmazione on-line	67

5.2.1.	Interfaccia utente – <i>teach pendant</i>	68
5.2.2.	6 DOF industrial robot	70
5.2.3.	Tipologie principali di moto.....	73
5.2.4.	Approssimazione del moto.....	75
5.2.5.	Breve panoramica delle istruzioni per i robot ABB	77
5.2.6.	Breve panoramica delle istruzioni per i robot KUKA.....	79
5.2.7.	Caso studio: Compito di pallettizzazione	79
5.3.	Programmazione Off-line.....	83
6.	SICUREZZA DELLE POSTAZIONI DI LAVORO ROBOTIZZATE	86
6.1.	Termini e definizioni di base.....	86
6.2.	Requisiti per la costruzione di robot	87
6.2.1.	Componenti dell'unità di alimentazione	87
6.2.2.	Interruzione o sbalzo della alimentazione elettrica	87
6.2.3.	Alimentazione	88
6.2.4.	Energia latente	88
6.2.5.	Compatibilità elettromagnetica (EMC).....	88
6.2.6.	Equipaggiamento elettrico.....	88
6.2.7.	Elementi di controllo	88
6.3.	Requisiti per le parti relative alla sicurezza dei sistemi di controllo	88
6.3.1.	Comando di arresto di emergenza	89
6.3.2.	Arresto di sicurezza.....	89
6.3.3.	Velocità ridotta.....	90
6.3.4.	Modalità di funzionamento	90
6.3.5.	Controllo tramite un teach-pendant.....	90
6.3.6.	Requisiti per la cooperazione operativa	91
6.4.	Descrizione delle categorie delle parti relative alla sicurezza dei sistemi di controllo.....	92
6.4.1.	Categoria B.....	92
6.4.2.	Categoria 1	92
6.4.3.	Categoria 2	94
6.4.4.	Categoria 3	94
6.4.5.	Categoria 4	96
6.5.	Dispositivi di sicurezza protettivi.....	96
6.5.1.	Dispositivo di arresto di emergenza	96
6.5.2.	Barriere fotoelettriche di sicurezza.....	97
6.5.3.	Laser scanner di sicurezza.....	99
6.5.4.	Barriere solide	100
6.5.5.	Sensori di sicurezza per le porte.....	100
6.5.6.	Tappeti di sicurezza.....	101
6.6.	Esempio di protezione di una postazione di lavoro robotizzata	102

1. STORIA, SVILUPPO E DEFINIZIONE DI ROBOT

1.1. DALLE MACCHINE DA SCRIVERE AI ROBOT

La tendenza all'impiego di umanoidi o macchine rassomiglianti ad esseri viventi al fine di servire l'uomo è antica quanto la stessa cultura umana. La costruzione delle prime statuine semoventi risale all'antico periodo bizantino. Nell'Iliade Omero racconta che Efesto, uno degli Dei dell'Olimpo, impiegò nella sua casa cameriere forgiate di oro puro. Nel periodo che va dal 400 al 365 A.C. Archita da Taranto creò con il legno un uccello meccanico, la famosa colomba di Archita. Si dice che il piccione contenesse al suo interno un piccolo palloncino, con una valvola che ne consentiva l'apertura e la chiusura per mezzo di contrappesi. Una volta riempito il palloncino d'aria compressa, agendo opportunamente sulla valvola, era possibile simulare il volo della colomba. Erone di Alessandria, celebre matematico ed inventore del I secolo D.C., è ricordato per aver progettato e costruito una serie di dispositivi meccanici tra cui: la prima macchina a vapore con il motore rotatorio, chiamata "eolipila"; un congegno meccanico che permetteva l'apertura dei portoni dei templi sfruttando la forza del vapore, ecc.. Un esempio significativo del suo ingegno è il dispositivo mostrato in fig. 1-1.a. Il fuoco acceso sull'altare riscalda l'acqua contenuta nel recipiente (A); la fuoriuscita di vapore provoca un incremento di pressione sulla superficie dell'acqua nella parte inferiore dell'altare, concepito come un serbatoio. L'acqua è spinta verso l'alto attraverso i tubi (L) e va a depositarsi nelle ciotole mantenute dalle mani delle statue. Una volta che le ciotole sono state riempite, le mani si inclinano e l'acqua versata dalle ciotole va a spegnere il fuoco sull'altare.

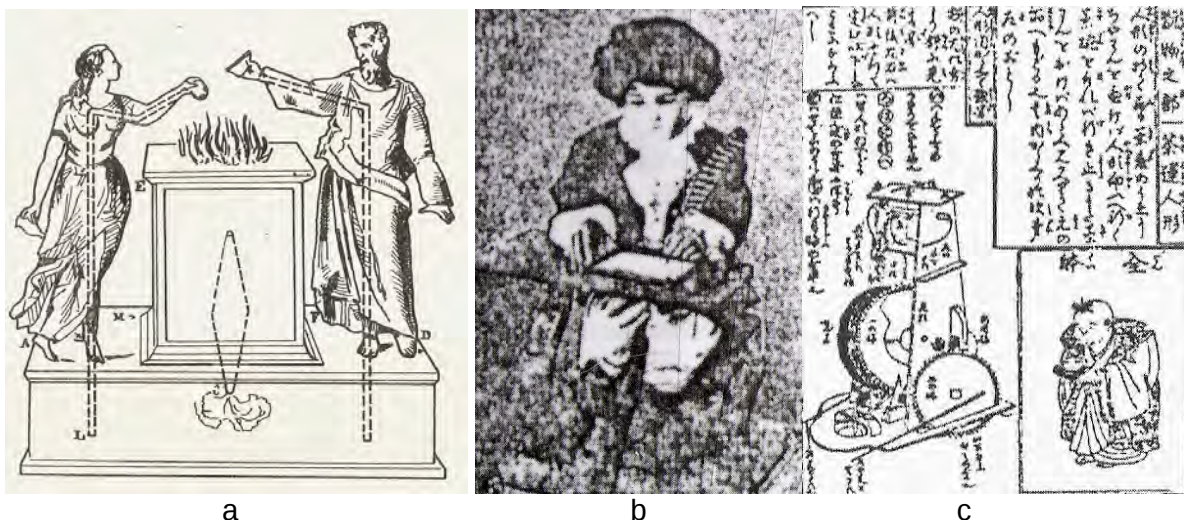


Fig. 1-1: Esempi di automatismi storici

a. Esempio di un antico altare con statue che versano automaticamente acqua sul fuoco sacrificale

b. Automa meccanico di Jacquet Droze.

c. Automa meccanico di Hosokawa

Il grande artista ed inventore Leonardo da Vinci (1452 – 1519) ha un grande rilievo nella storia dell'automazione.

Per accogliere il re Ludovico XII a Milano, Egli costruì un leone meccanico, che si avvicinò al trono del re e lo salutò alzando una zampa.

Costruzioni meccaniche di esseri umani artificiali maggiormente significative furono realizzate nel 18° secolo e sono relative alla biorobotica.

Nel 1738, l'ingegnere meccanico francese Jacques de Vaucanson costruì un robot flautista in grado di suonare 12 pezzi musicali. Il robot produceva suoni soffiando aria attraverso la bocca nell'apertura principale del flauto e cambiava i toni posizionando le dita sulle altre aperture dello strumento.

Nel 1772, Jacquet Droz costruì un automa a forma di bambino (vedi fig. 1-1b), comandato mediante camme e guidato mediante molle, che era in grado di scrivere porzioni di testo usando una penna reale. Nel 1796, un altro automa ben noto, il ragazzo che porta il tè (vedi fig. 1-1c), fu realizzato dal giapponese Hosokawa.

Studi sui fenomeni fisici ed ulteriori sviluppi tecnologici fornirono ai costruttori di automi mezzi maggiormente efficienti.

L'avanzamento delle conoscenze nel campo dell'acustica consentì la costruzione di meccanismi in grado di emettere semplici suoni, per esempio strumenti musicali automatici e statuette parlanti.

Nel periodo successivo alla seconda guerra mondiale, in tutte le migliori esposizioni tecniche venivano presentati nuovi robot.

Questi riproducevano la forma degli armigeri, muovevano le mani e rispondevano a semplici domande con una voce riprodotta da un grammofo.

L'elettricità consentì di controllare i robot in modo più efficace rispetto all'impiego di manovelle, camme e molle.

Per esempio il robot TLEVOX, costruito nel 1927 da Brit R. J. Wensly, era in grado di afferrare la cornetta del telefono, quando questo squillava, e di rispondere con voce umana. L'americano Whitman Zase creò un umanoide radiocomandato denominato "OCCULTA". Esso era destinato a scopi militari, ovvero per distruggere barricate o per superare blocchi militari.

La parola "robot" deriva dall'antico termine slavo "rob", la quale si ritrova anche nelle parole ceche "robota", che significa lavoro duro, forzato e faticoso, e "robi" (lavorare), ma anche nelle parole "výroba" (produzione, lavorazione), "obraběť" (lavorare, macchina, utensile), ecc. Il geniale scrittore ceco Karel Čapek usò la parola robot per identificare degli esseri creati artificialmente nella sua opera "R.U.R" nel 1920. L'acronimo "R.U.R." sta per: "Rosum's Universal Robots", liberamente tradotto come „*Univěrsální roboti pana Rozuma*" (la parola "rozum" in ceco significa cervello o intelletto). Originariamente, Karel Čapek voleva nominare i suoi robot "Labors" (ovviamente con l'obiettivo di utilizzare la parola latina "labore", o eventualmente la parola inglese "labour"), ma fu suo fratello, il pittore Josef Čapek, che gli consigliò di utilizzare la parola "robot". Sta di fatto che dal 1921, quando fu messa per la prima volta in scena l'opera di Čapek "R.U.R", subito diventò popolare nel mondo e, con essa, la parola ceca "robot". Per esempio, ai bambini giapponesi nelle scuole viene insegnata l'origine ceca della parola "robot".

Da quel momento in poi la parola robot è stata comunemente utilizzata per indicare qualsiasi dispositivo automatizzato o meccanizzato, dai distributori di cibo ai piloti automatici. Inevitabilmente, essa è stata anche associata ai tanti tentativi, che si sono succeduti nella storia, di costruire "androidi" artificiali dalle sembianze umane, principalmente basati su concetti meccanici. Va osservato che questi concetti erano del tutto estranei a Karel Čapek; il suo concetto di robot era legato alla biochimica. Tuttavia, nella Repubblica Ceca i robot vengono classificati come macchine inanimate, in accordo con il paradigma inanimato "hrad". Nella produzione industriale di massa, comunque, le macchine, ampiamente impiegate, adibiti a funzioni normalmente espletate dall'uomo, generalmente non vengono chiamate robot, ma automi (o macchine automatiche). Questo perché gli automi, nell'aspetto, somigliano molto poco all'uomo e le loro funzioni sono in gran parte altamente specialistiche (auto-operatori, manipolatori a singola funzione, ecc.).

La fig. 1-3 illustra lo sviluppo storico della produzione di macchine industriali e di robot. Sebbene lo sviluppo storico delle macchine industriali sia cominciato molto prima, qui viene individuato tra il XV ed il XVI secolo. In questo periodo è possibile riconoscere il vero e proprio sviluppo delle macchine industriali, considerando anche il loro graduale miglioramento e la meccanizzazione, così come lo sviluppo da parte di Golem di una concezione maggiormente articolata di un essere artificiale, rispetto ai robot concepiti da

Čapek nell'opera "R.U.R.". Il filo comune a questi due differenti sviluppi può essere individuato nell'invenzione delle macchine a controllo numerico (NC) verso la metà del XX secolo. Le macchine industriali a controllo numerico, insieme con i manipolatori, anch'essi dotati di controllo numerico – i robot industriali – cominciarono a far sì che l'idea della produzione automatica potesse diventare realtà.

Era il 1961 quando la società americana AMF (*American Machine and Foundry Corporation*) introdusse sul mercato una macchina automatica polivalente con il nome di "*VERSATRAN Industrial Robot*" (VERSAtile TRANsfer), che era in grado di svolgere le funzioni di un uomo in una linea di produzione, sebbene non avesse alcuna somiglianza con l'uomo, e che rappresentava il punto di inizio di futuri sviluppi mai ipotizzati prima.

La simbiosi tra i robot industriali e le macchine di produzione a controllo numerico tra il XX ed il XXI secolo ha dato luogo alla nascita di fabbriche completamente automatizzate, come quelle operate dalla compagnia giapponese FANUC.

Altri robot industriali hanno trovato impiego in applicazioni non manifatturiere, tra cui l'agricoltura.

La parte della fig. 1-3 incorniciata in rosso rappresenta una selezione di tipici robot industriali.

Quello a sinistra prevede una programmazione mediante apprendimento immediato. Questa consiste in una prima fase denominata modalità "TEACH" durante la quale il programmatore guida il robot lungo il percorso desiderato, il quale viene registrato nel sistema di controllo; successivamente, dopo l'attivazione del programma memorizzato, nella modalità denominata "REPEAT" il robot continua a ripetere l'attività registrata. Questi robot trovano impiego principalmente nei processi di saldatura continua lungo un percorso desiderato, oppure nei processi di verniciatura o di deposizione di rivestimento protettivo.

Quello a destra prevede una programmazione implicita, o "mediata", durante la quale il programmatore, mediante un teach-pendant (una sorta di pannello di controllo), guida il robot fino al punto desiderato che viene salvato nella memoria del sistema di controllo. Dopo aver memorizzato il percorso, il robot esegue delle operazioni preimpostate su tali punti oppure nello spazio fra di essi. Questi robot sono molto appropriati, per esempio, nella saldatura a punti di carrozzerie nelle fabbriche di automobili.

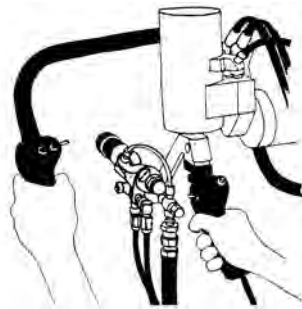


Fig. 1-2: Apprendimento immediato di un robot industriale

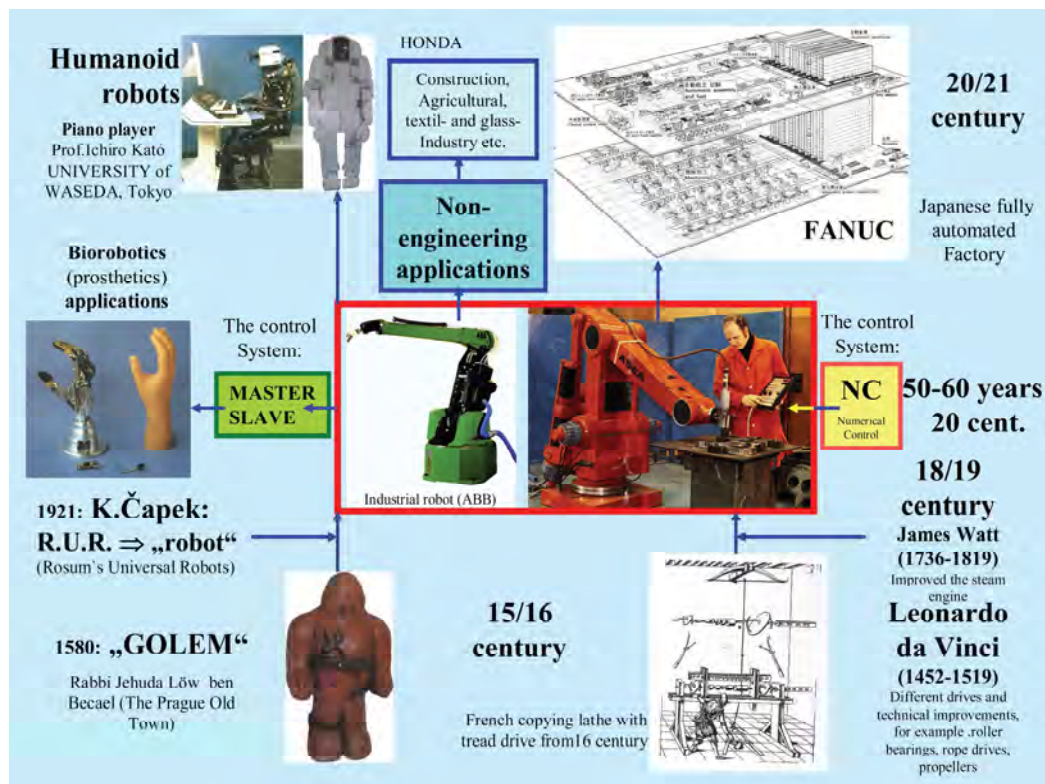


Fig. 1-3: Schema dello sviluppo di macchine e robot industriali

Le applicazioni di Biorobotica, gestite da sistemi MASTER-SLAVE, eventualmente con il contributo dell'elettromiografia (EMG), sono state sviluppate come una sorta di appendice dei sistemi a controllo numerico. Comunque lo sviluppo diretto della robotica sta raggiungendo l'obiettivo ambizioso di realizzare robot umanoidi in grado di muoversi e camminare (ad esempio HONDA). Questi dispositivi hanno una notevole somiglianza con il fittizio Golem. Inoltre anche l'apprendimento immediato dei robot industriali, che sono guidati dai loro componenti terminali, e la registrazione di questo movimento nel sistema di controllo, possono ricordare il modo in cui Golem viene portato in vita per mezzo di un misterioso „šém“ inserito nella sua testa.

Il robot-pianista del professor Ichiro Katô dell'Università Waseda di Tokyo ha accompagnato l'intera orchestra sinfonica alla fiera mondiale in Osaka. Il robot-umanoide Honda, così come altri androidi, è in grado di salire le scale, trasportare oggetti, danzare, ecc.. Essi meriterebbero una forma animata del loro nome, indicata in ceco con il termine „roboti“.

1.2. DEFINIZIONE DI ROBOT

Un confronto tra le proprietà di una macchina e quelle dell'uomo in processo produttivo può essere realizzato attraverso i seguenti fattori:

- Proprietà fisiche
- Possibilità funzionali
- Livello di intelligenza

La coscienza umana costituisce il confine del livello di intelletto, ed è necessaria in un processo di produzione. Nel caso specifico, essa è principalmente costituita dalla percezione, l'apprensione, il processo decisionale, la memoria e la logica. Le possibilità funzionali comprendono la capacità di adattamento, la flessibilità, la mobilità nello spazio, la manipolabilità, ecc.. Relativamente alle proprietà fisiche si fa riferimento alla potenza, alla velocità, alla capacità di lavoro perpetuo, alla stabilità delle caratteristiche lavorative, alla durata, all'affidabilità, ecc.. I tre fattori suddetti possono essere visualizzati per mezzo di un diagramma in coordinate cartesiane x, y e z. [4; p.38].

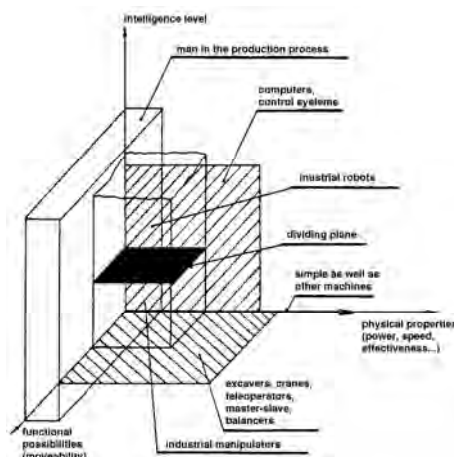


Fig. 1-4: Confronto schematico tra uomo e macchina in un processo di produzione
[NODA;s.xx]

La fig. 1-4 presenta una descrizione molto schematica dell'uomo in un processo di produzione. Egli è caratterizzato da un alto livello di intelletto (necessario per il processo di produzione in questione), un livello piuttosto alto del fattore relativo alle possibilità funzionali, ma da un basso livello del fattore relativo alle proprietà fisiche. L'uomo pertanto è schematizzato mediante un parallelepipedo di piccolo spessore lungo l'asse delle proprietà fisiche. L'uomo ha sempre avuto questa consapevolezza; per questo motivo egli ha sempre realizzato macchine in grado di sopprimere alle sue incapacità fisiche.

Le macchine da cantiere e loro simili, controllate direttamente dall'uomo, ad esempio escavatori, ruspe, bilancieri, ecc., sono schematizzate in due dimensioni, nel piano individuato dalle proprietà fisiche e dalle possibilità funzionali.

D'altra parte, gli elaboratori (computer, sistemi di controllo) sono anch'esse rappresentate in due dimensioni nel suddetto diagramma, mediante un piano individuato dalle proprietà fisiche e dal livello di intelletto.

Solo la connessione, o meglio la permeazione, delle due tipologie di macchine su descritte può dar luogo ad un manipolatore industriale, un robot, che, nello schema di fig. 1-4, presenta una estensione tridimensionale, simile a quella dell'uomo.

Lo studio della robotica, naturalmente, comporta la ricerca di una definizione appropriata sia dei manipolatori, sia degli stessi robot. Le definizioni di "robot", che si trovano nella letteratura mondiale, sono ben lungi dall'essere concordi. Alcune di esse utilizzano come fattore discriminante il numero di gradi di libertà del dispositivo, ad esempio: "Il robot è un dispositivo con più di tre gradi di libertà; dispositivi con numero di gradi di libertà inferiore a tre vengono chiamati manipolatori". Oppure "Il robot industriale è un dispositivo di manipolazione automatica liberamente programmabile secondo tre assi di trasporto, dotato di pinze ed altri strumenti tecnologici, progettato per uso industriale". Queste definizioni danno prova della mancanza di comprensione della filosofia di base dei robot. Tuttavia, l'ultima definizione menzionata solleva un'altra questione, ossia se un robot e un robot industriale sono dispositivi identici. L'attributo "industriale" suggerisce esso stesso cosa si intende nell'ultima parte della definizione: che un robot industriale è un particolare tipo di robot. Per la nozione generale di "robot" è possibile adottare la definizione dettata dall'ing. Ivan M. Havel, CSc. [2], come citato in [3, p.20]:

"Il robot è un sistema integrato automatico o comandato da calcolatore, capace di interazione autonoma e finalizzata ad un compito, con l'ambiente naturale, basata su istruzioni conferite dall'uomo. L'interazione consiste nel rilevare e riconoscere l'ambiente e nel manipolare oggetti, o muoversi, all'interno dell'ambiente."

La suddetta definizione è applicabile senza dubbio ad un gran numero di sistemi robotici destinati a varie applicazioni, non solo industriali. La natura di un "robot industriale" è stata correttamente definita dal Prof. Ing. P. N. Beljanin [1]:

"Il robot industriale è una macchina funzionante autonomamente – automa, progettata per riprodurre alcune delle funzioni intellettive e motorie dell'uomo in operazioni di fabbricazione basilari o ausiliarie, senza la presenza costante dell'uomo. A tal fine, esso è dotato di strumenti in grado di fornire alcune delle capacità umane (udito, vista, tatto, memoria, ecc.), ha l'abilità di autoapprendimento, organizzazione e adattamento, vale a dire capacità di adattamento ad un dato ambiente."

Il dispositivo così definito è il sostituto ideale dell'uomo nel processo di produzione. Che si tratti di un robot industriale o di un manipolatore industriale, deve essere determinato in base all'analisi del suo livello di intelligenza, vale a dire del suo sistema di controllo. In accordo con la fig. 1-4, non esiste un criterio unificato che consenta una rigida distinzione tra manipolatori industriali e robot industriali.

2. LA STRUTTURA DEI ROBOT E DEI MANIPOLATORI INDUSTRIALI (IR&M)

2.1. STRUTTURA CINEMATICA DEI ROBOT INDUSTRIALI

2.1.1. Sistema di azionamento del robot industriali stazionari

Sulla base delle definizioni di robot date nel precedente paragrafo e da una visione generale su questi complessi dispositivi, è possibile giungere alla conclusione che i robot industriali devono essere intesi come un sottoinsieme dei robot. Questi sono rappresentati principalmente da robot mobili la cui movimentazione è resa possibile da ruote o cinghie disposte al di sotto del telaio, oppure da gambe realizzate in similitudine a quelle di animali o di androidi.

Nei sistemi robotici mobili, il braccio di manipolazione rappresenta un meccanismo che è, da un punto di vista globale, praticamente un sistema di azionamento in sé. Esso può essere usato come robot industriale fisso oppure può essere equipaggiato con meccanismi di locomozione semplici o complessi.

In termini di caratteristiche costruttive, i sistemi di azionamento degli IR&M possono essere classificati come segue:

- Meccanismo di locomozione;
- Meccanismo di posizionamento;
- Meccanismo di orientamento;
- End effector (organo terminale).

Un punto di riferimento " B_r " è situato tra il meccanismo di posizionamento ed il meccanismo di orientamento e chiude la catena cinematica di base (BKC) costituita dal meccanismo di posizionamento e, a volte, anche dal meccanismo di locomozione. La catena cinematica (KC) quindi comprende la catena cinematica di base ed il meccanismo di orientamento. Un compensatore della posizione è a volte inserito tra il meccanismo di orientamento e l'end-effector. La fig. 2-1 mostra un esempio di classificazione dei componenti del sistema di azionamento di un robot dotato di un meccanismo di locomozione lineare è presentato in fig. 2-1.

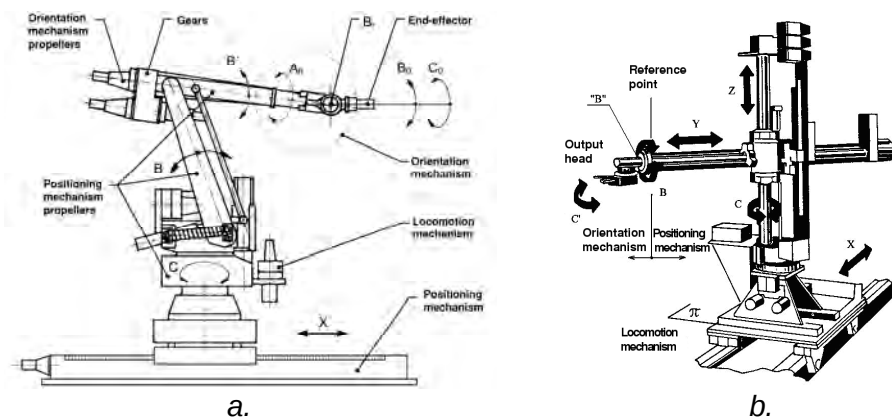


Fig. 2-1: Esempio di classificazione dei componenti del sistema di azionamento di un robot industriale stazionario.

a. Robot industriale adattativo APR- 20 VUKOV-PREŠOV (SK)

b. Robot industriale BEROE RB-321(BG)

X - meccanismo di locomozione

Meccanismo di posizionamento - CBB' (APR-20), CZY (BEROE RB-321)

B_r - Punto di riferimento

A_0, B_0, C_0 - Meccanismo di orientamento (possibile disposizione)

Nota: X, Y, Z – traslazione lungo gli assi x, y, z

A, B, C – rotazioni intorno agli assi x, y, z

A_0, B_0, C_0 - rotazioni intorno agli assi del meccanismo di orientamento

2.1.2. Coppie cinematiche nella costruzione dei robot industriali

Il sistema di azionamento dei robot e dei manipolatori industriali (IR&M) è un meccanismo mobile costituito da una serie di legami binari interconnessi per mezzo di coppie cinematiche (KP). Ognuna delle coppie cinematiche ha per lo più un grado di libertà; coppie cinematiche con più gradi di libertà (ad esempio coppie cinematiche piane o cilindriche) non sono tipicamente impiegate nella costruzione degli IR&M. Lo stesso vale per la combinazione di due coppie cinematiche rotazionali in un singolo giunto costituente una coppia cinematica sferica, la quale viene impiegata raramente a causa delle caratteristiche progettuali che la rendono non adatta per l'installazione in servomotori.

Nei robot e manipolatori industriali vengono solitamente impiegate coppie cinematiche lineari (per le traslazioni) e rotoidali (per le rotazioni). Al fine di rappresentare le strutture cinematiche degli IR&M, è stato adottato un sistema di simboli schematici che richiamano le caratteristiche tipiche dei diversi giunti.

Coppia cinematica traslazionale (o prismatica) (T)

Una rappresentazione di questa coppia cinematica è relativamente semplice e richiede solo la descrizione del movimento lineare di due corpi, l'uno lungo l'altro. Tuttavia, devono essere considerati i diversi possibili movimenti relativi dei due corpi:

- a) Un corpo corto si muove su una guida lunga – *support design* (vedi Fig. 2-2a)
- b) Un corpo esteso si muove all'interno di una guida corta – *slide design* (vedi Fig. 2-2b)
- c) Design di estensione o telescopico (vedi Fig. 2-2c)

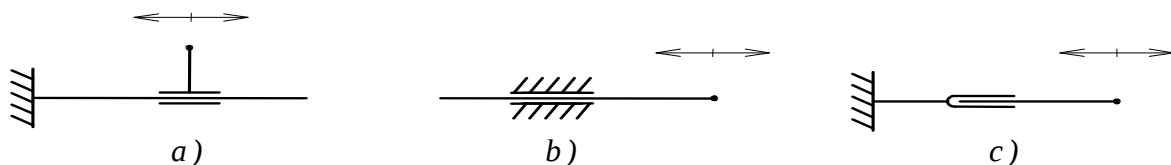


Fig. 2-2: Rappresentazione schematica delle coppie cinematiche traslazionali: a) carrello, b) pattino scorrevole, c) telescopica

In assenza di altri simboli speciali, si assume che l'elemento movente della coppia cinematica in fig. 2-2 non possa allo stesso tempo ruotare.

Coppia cinematica rotazionale (R)

Nella rappresentazione di una coppia rotazionale (Rotational Kinematic Pair - RKP), bisogna considerare le sue caratteristiche specifiche, che riguardano la rotazione intorno al proprio asse oppure la rotazione di un braccio di lunghezza "r" intorno ad un asse eccentrico (giunto). Inoltre, bisogna considerare anche la direzione della vista del giunto rotazionale (frontale, planare o laterale).

- RKP con un braccio rotazionale „r“ (a, c)
- RKP con rotazione intorno al proprio asse (b, d)
- RKP con un angolo di rotazione illimitato (e)
- RKP con un angolo di rotazione limitato (f)

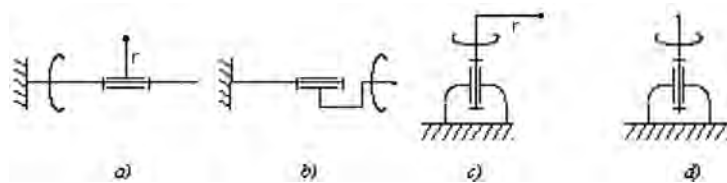


Fig. 2-3: Coppie cinematiche rotoidali con angolo di rotazione illimitato:

a),c) – con braccio di lunghezza “ r ”, e b),d) – intorno al proprio asse ($r = 0$)

Va notato che anche una semplice rappresentazione schematica riesce a trasmettere l'idea del tipo di moto rotatorio consentito dai vincoli costruttivi. Tipici esempi sono mostrati nelle Fig. 2-3 e Fig. 2-4.

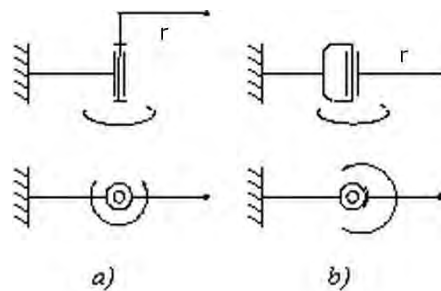


Fig. 2-4: Coppie cinematiche rotoidali con braccio “ r ” nelle viste frontali ed in pianta:

a) con angolo di rotazione illimitato; b) con angolo di rotazione limitato.

2.1.3. Robot industriali con cinematica seriale

Catene cinematiche di base degli IR&M – meccanismi di posizionamento

Tutte le principali strutture cinematiche delle catene cinematiche di base (meccanismi di posizionamento) dei robot sono strutture con cinematica seriale. Ciò è dovuto all'impiego delle suddette coppie cinematiche (prismatiche o rotoidali), ciascuna avente sempre un grado di libertà, che traslano o ruotano indipendentemente l'una dall'altra. Il moto risultante è ottenuto dalla somma dei moti di tutte le coppie cinematiche.

Questo principio è alla base della cinematica seriale non solo nei sistemi robotici, ma anche, ad esempio, nel settore delle macchine utensili.

Il meccanismo di posizionamento è impiegato per impostare la posizione desiderata del punto di riferimento B_r . Per la sua movimentazione lungo una linea (retta) o una curva (circonferenza), è sufficiente un solo grado di libertà, che sia prismatica (T) o rotazionale (R). Invece per il posizionamento del punto B_r su una superficie o su un piano, è richiesta la combinazione di due coppie cinematiche. Solo dopo l'aggiunta di una terza coppia cinematica il punto di riferimento in una catena cinematica di base potrà muoversi nello spazio in funzione della combinazione di tutte le coppie cinematiche.

In termini di applicazioni pratiche, nei primi anni di sviluppo della robotica sono state ampiamente impiegate le seguenti quattro combinazioni di base di tre coppie cinematiche:

- | | | |
|----|---|-------|
| 1. | Tre coppie cinematiche prismatiche: | T T T |
| 2. | Una coppia rotazionale e due prismatiche: | R T T |
| 3. | Due coppie rotazionali ed una prismatica: | R R T |
| 4. | Tre coppie cinematiche rotazionali: | R R R |

I volumi di lavoro di queste quattro combinazioni sono rispettivamente:

1. Rettangolare
2. cilindrico
3. sferico
4. Torico (TORUS) ¹ (detto anche combinato, antropomorfo, angolare).

La Fig. 2-5 a-d offre una panoramica dei volumi di lavoro ottenuti mediante le quattro combinazioni di base di tre coppie cinematiche.

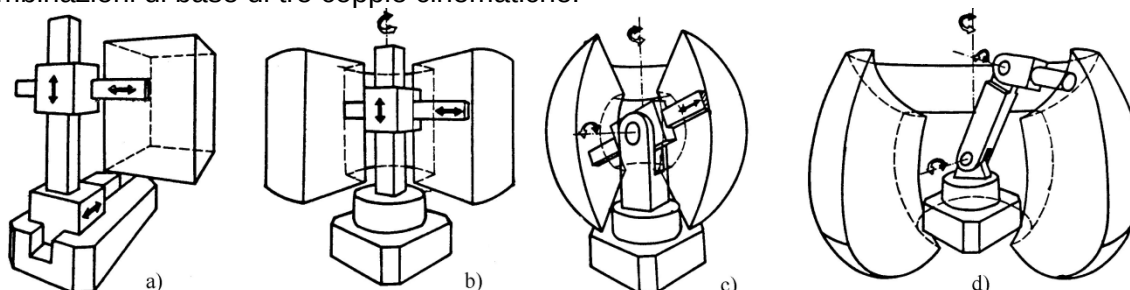


Fig. 2-5: Rappresentazione dei volumi di lavoro delle tipologie di base di robot industriali:

- a. Volume di lavoro cartesiano (o rettangolare) (Tipo „K“)
- b. Volume di lavoro cilindrico (Tipo „C“)
- c. Volume di lavoro sferico (Tipo „S“)
- d. Volume di lavoro torico (ditto anche combinato, antropomorfo, angolare) (Tipo „A“)

Ulteriori applicazioni hanno richiesto lo sviluppo di robot industriali con combinazioni di coppie cinematiche differenti da quelle corrispondenti ai volumi di lavoro di base. Un esempio è fornito dal robot industriale "UM-160", la cui struttura cinematica può essere espressa attraverso la combinazione di coppie cinematiche TTR, vedi fig. 2-5b, così come nel robot della Renault PROB-5. Queste strutture cinematiche di robot industriali sono note come strutture derivate.

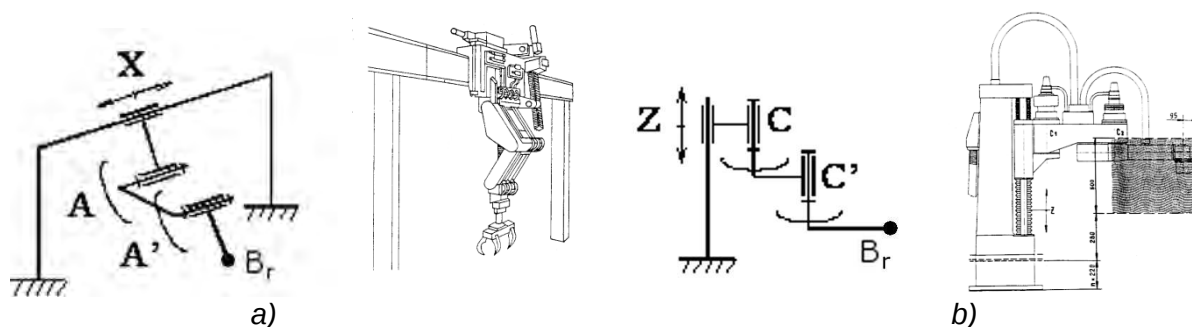


Fig. 2-6: Trasformazione delle strutture di robot industriali concepite come combinazioni di tipo TRR.

- a. Rappresentazioni schematica e figurativa del robot industriale UM-160 (URS)
 - b. Rappresentazioni schematica e figurativa del robot industriale PROB-5 (CZ)
- dove: X,Z,...rappresentano le traslazioni lungo gli assi x e z; A, A', C, C'...rappresentano le rotazioni intorno agli assi x e z; B_r...è il punto di riferimento.

Le applicazioni pratiche sono in accordo con la teoria che definisce per n gradi di libertà il numero di possibili combinazioni di coppie cinematiche T ed R:

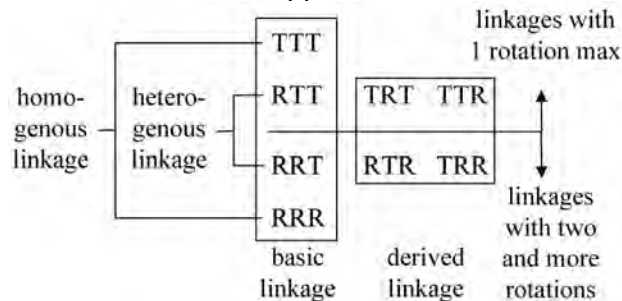
¹ "TORUS", "OBLOUN" in ceco, è un termine tratto dall'architettura dove descrive modanature convesse semicircolari unite mediante una modanatura concava. Esse si ritrovano ad esempio nelle basi delle colonne Ioniche o Attiche (varietà orizzontale) oppure nel profilo degli stipiti gotici (varietà verticale).

$$m = 2^n \dots\dots\dots (2.1)$$

dove n è un numero naturale.

Per un numero di gradi di libertà $n = 3$, il numero di possibili combinazioni è esteso ad un totale di $m = 2^3 = 8$ gruppi, come mostrato nella tabella 2.1:

Tabella 2.1: Combinazioni di coppie cinematiche basiche e derivate



Questo schema già comprende la struttura dei robot mostrata in Fig. 2-6 (TRR); quindi, è possibile far riferimento ad una struttura derivata della catena cinematica di base di questo robot in virtù della connessione delle sue coppie cinematiche.

In contrasto con l'esempio della struttura di robot industriale mostrata nella Fig. 2-6, la struttura della catena cinematica di base dei robot industriali del tipo "SCARA" (GEC ROBOTS BODY, BOSCH SR-800) non rappresenta la combinazione base RTT. Tuttavia, in contrasto con la combinazione di base più diffusa impiegata nei robot industriali di questo tipo, la connessione con il volume di lavoro sferico è evidente, come mostrato in Fig. 2-7.

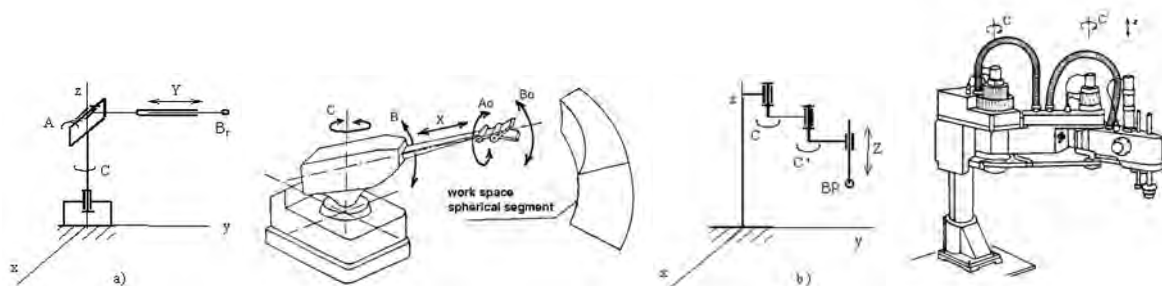


Fig. 2-7: Differenti tipologie di robot industriali caratterizzate da differenti disposizioni delle coppie cinematiche nella combinazione RRT

- a) Rappresentazioni schematica e figurativa del robot industriale „UNIMATE“ (CBY)
- b) Rappresentazioni schematica e figurativa del robot industriale „SCARA“ (CC'Z)

Comunque è impossibile distinguere la struttura della catena cinematica di base CC'Z usata nel robot industriale "SCARA" dalla struttura del tipo CBY nella combinazione RRT (ad esempio UNIMATE) puramente in virtù dell'analisi delle combinazioni di coppie cinematiche, sebbene entrambi i tipi mostrano grandi differenze.

La ragione di ciò è che, a causa della diversa disposizione delle coppie cinematiche, si ha una trasformazione dal giunto di tipo sferico a quello cilindrico. Le strutture mostrate in Fig. 2-6, e progettate nella combinazione TRR, sono simili. Si tratta di un esempio concreto del fatto che ciascuna delle coppie cinematiche impiegate nella catena cinematica di base può essere orientata in una delle tre differenti direzioni date dal sistema di assi cartesiani x, y, z, e cioè:

- Traslazione (T) lungo gli assi X,Y,Z,

- Rotazione (R) intorno agli assi A,B,C,

Per cui all'interno delle rispettive combinazioni, sono possibili diverse altre disposizioni, per esempio Tx,Ty,Tz (X,Y,Z) a differenza di Tx,Tz,Ty (X,Z,Y) etc. In teoria, per un numero di gradi di libertà $n = 3$ ci sono $w_{3\text{teor}} = 165$ differenti disposizioni, di cui solo $w_{3\text{prakt}} = 13$ sono impiegate nella pratica.

La combinazione e la disposizione delle coppie cinematiche nella catena cinematica di base (meccanismo di posizionamento) giocano un ruolo cruciale nella valutazione della morfologia di un particolare robot industriale, consentendone la classificazione tra i tipi basici o derivati (vedi capitolo 2.2).

Meccanismo di orientamento

I vari tipi di robot industriali su introdotti hanno mostrato, tra l'altro, che il meccanismo di posizionamento di qualunque tipo di IR&M avente tre gradi di libertà consente di condurre il punto di riferimento "B" nella posizione desiderata del volume di lavoro. Il meccanismo di orientamento deve essere quindi utilizzato per garantire il corretto orientamento dell'oggetto afferrato e manipolato. In termini pratici, il meccanismo di orientamento non incide sostanzialmente sull'architettura del robot, essendo questa largamente determinata dal meccanismo di posizionamento.

Il meccanismo di orientamento ha una funzione solo complementare assicurando che venga raggiunta non solo la corretta posizione dell'oggetto, ma anche il giusto orientamento.

Quindi, in teoria, la struttura della catena cinematica degli IR&M dovrebbe presentare (per le combinazioni di base delle coppie cinematiche) le caratteristiche mostrate in tabella 2.2:

Tabella 2.2²: Uso scorretto delle coppie cinematiche nel meccanismo di orientamento

Meccanismo di posizionamento	Meccanismo di orientamento	Valutazione
TTT	RRR	
RTT	TRR	- NO!
RRT	TTR	- NO!
RRR	TTT	- NO!

Sebbene, in generale, la posizione di un corpo Nello spazio è determinate da sei gradi di libertà, di cui tre prismatiche e tre rotazionali, è impossibile utilizzare sempre queste combinazioni per la manipolazione. Se le coppie cinematiche prismatiche sono impiegate nel meccanismo di posizionamento, allora, per ottenere un desiderato orientamento, le coppie rotazionali devono essere utilizzate nel meccanismo di orientamento. Tuttavia, se le coppie cinematiche rotazionali sono impiegate nel meccanismo di posizionamento, allora il meccanismo di orientamento, come parte della catena cinematica di un robot industriale, deve anch'esso contenere coppie cinematiche rotazionali, consentendo al robot di ri-orientare l'oggetto nella direzione corretta, una volta che il robot abbia effettuato una rotazione.

Quindi, in tabella 2.2 solo la prima riga è corretta in quanto rappresenta una combinazione tre coppie cinematiche prismatiche (TTT). La corretta struttura delle catene cinematiche degli IR&M deve rispettare la tabella 2.3.

² Le lettere in grassetto evidenziano le differenze costruttive, gradualmente meno robuste, tra il meccanismo di posizionamento e quello di orientamento.

Tabella 2.3: Uso corretto delle coppie cinematiche nel meccanismo di orientamento

Meccanismo di posizionamento	Meccanismo di orientamento
TTT	RR(R)
RTT	RR(R)
RRT	RR(R)
RRR	RR(R)

Pertanto è possibile concludere che il meccanismo di orientamento degli IR&M deve solo essere costruito da coppie cinematiche rotazionali. Eccezioni possono occorrere solo per particolari esigenze.

Il meccanismo di orientamento degli IR&M può, in generale, avere un numero qualunque di gradi di libertà (DOF), a cui vanno sommati i gradi di libertà del meccanismo di posizionamento per ottenere il numero totale di gradi di libertà della catena cinematica di un robot industriale.

Tuttavia, l'utilizzo della terza rotazione consente semplicemente di ruotare l'oggetto manipolato intorno all'asse della catena cinematica, il quale è solitamente ridondante (in particolare quando si manipolano oggetti assialsimmetrici). Di conseguenza, i meccanismi di orientamento dei robot industriali spesso contengono solo due coppie cinematiche rotazionali in modo da annullare la rotazione del meccanismo di posizionamento, mentre la terza rotazione intorno all'asse dell'oggetto manipolato viene scartata. Ciò è evidenziato nella tabella 2.3 dalla R tra parentesi.

Comunque, l'uso di tutte le tre coppie cinematiche rotazionali può essere vantaggioso per orientare opportunamente gli oggetti; si consideri, ad esempio, l'assemblaggio di un perno con linguetta, o di un profilo scanalato, all'interno del relativo foro in un mozzo.

O ancora, la coppia cinematica terminale può essere adattata ad un braccio che ha, per esempio, una saldatrice all'estremità. È ovvio che le considerazioni teoriche sul meccanismo di orientamento sono strettamente correlate alle sue applicazioni pratiche.

La precedente analisi ha mostrato che la progettazione di una coppia cinematica rotazionale nel meccanismo di orientamento (così come nel meccanismo di posizionamento) può comportare sia la rotazione intorno al proprio asse (senza un braccio di rotazione supplementare), sia la rotazione intorno ad un braccio "r" (vedi Fig. 2-8).

Inoltre, nel meccanismo di orientamento è difficile determinare la pertinenza agli assi x, y o z, in quanto si ha a che fare con una disposizione molto mobile. Denotare le coppie cinematiche rotazionali nel meccanismo di orientamento come ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 ,etcè più adatto..

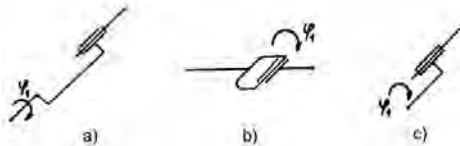


Fig. 2-8: Realizzazione di una coppia cinematica nel meccanismo rotazionale degli IR&M

- a) Con un asse
- b) b), c) con un braccio rotazionale

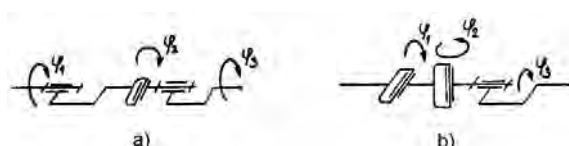


Fig. 2-9: Due possibili disposizioni di tre coppie cinematiche rotazionali nel meccanismo di orientamento degli IR&M

- a) La prima e la terza coppia cinematica hanno assi paralleli nella posizione di base
- b) Gli assi di tutte le tre coppie cinematiche sono reciprocamente perpendicolari.

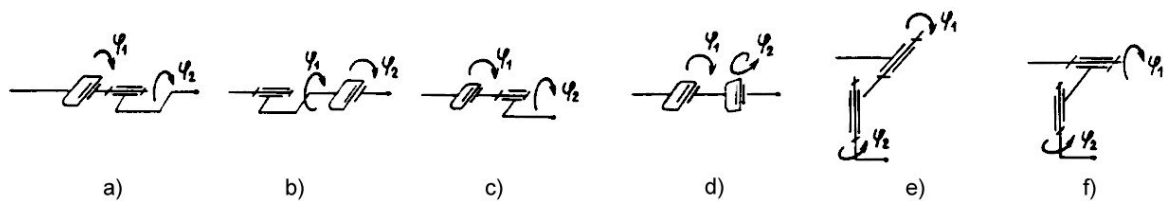


Fig. 2-10 Le disposizioni più comuni relative alla combinazione di due coppie cinematiche nel meccanismo di orientamento degli IR&M.

Le rotazioni cambiano spontaneamente direzione quando diverse coppie cinematiche vengono combinate tra loro. Anche in questo caso, analogamente al meccanismo di posizionamento, è necessario monitorare la loro disposizione. Il monitoraggio degli assi paralleli non è così significativo come nel meccanismo di posizionamento, in quanto l'attività del meccanismo di orientamento in differenti posizioni di lavoro è presunta. In linea di massima, le posizioni mostrate in fig. 2-10 sono utilizzate nella combinazione di due coppie cinematiche rotazionali nel meccanismo di orientamento.

In una combinazione di tre coppie cinematiche, il numero di possibili disposizioni aumenta ulteriormente, analogamente a quanto accade nel meccanismo di posizionamento. Comunque, le due varianti maggiormente nella pratica sono mostrate in fig. 2-9. Nell'esempio di fig. 2-9a, la terza coppia cinematica presenta una certa inclinazione rispetto alla prima quando la seconda coppia cinematica viene leggermente rotata. Altre particolari configurazioni del meccanismo di orientamento degli IR&M sono strettamente legate alle loro rispettive soluzioni costruttive modulari o integrate.

2.1.4. Il problema dell'accuratezza di posizionamento

I giochi inevitabilmente presenti nel meccanismo di movimentazione di una catena cinematica vengono suddivisi in giochi di fabbrica v_z e giochi causati dall'usura v_o . Dopo il primo avvio e dopo un certo periodo di lavoro, il gioco complessivo può essere determinato mediante la seguente formula: $v_c = v_z + v_o = n \cdot v_z$, dove n è un coefficiente il cui valore è proporzionale al periodo di tempo durante il quale la catena è impiegata. In un sistema seriale di ordinamento di catene cinematiche di IR&M, ognuno dei quali mostra un errore Δ_i , l'errore risultante Δ_c è dato dalla somma geometrica degli errori delle singole coordinate ($\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots$). Nel caso il sistema presenti tre gradi di libertà l'errore totale è $\Delta_c = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$. Questo non deve superare il massimo valore ammissibile relativo alla mancanza di accuratezza nel posizionamento $\Delta_c < \Delta_{c\text{dov}}$.

Nel sistema di riferimento cartesiano (K) in fig. 2-5a e fig. 2-11a, le coordinate dell'errore sono espresse come: $\Delta_x = \Delta_1 = x_2 - x_1$; $\Delta_y = \Delta_2 = y_2 - y_1$; $\Delta_z = \Delta_3 = z_2 - z_1$

Dove x_2, y_2, z_2 sono le coordinate cartesiane della posizione desiderata A_2 e x_1, y_1, z_1 sono le coordinate cartesiane della posizione effettiva A_1

La norma dell'errore nel sistema di riferimento (K) è:

$$\Delta_{cK} = \overline{A_1 A_2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Assumendo l'ipotesi semplificativa che gli errori sulle singole coordinate siano: $\Delta_x = \Delta_y = \Delta_z = \Delta$, l'errore risultante può essere espresso come: $\Delta_{cK} = A_1 A_2 = 1,73 \Delta$.

Date le assunzioni sull'accuratezza, che si mantiene costante lungo tutto l'elemento propulsivo (ad esempio una camma), l'espressione dell'errore non dipende dalla distanza percorsa dalla testa rispetto al centro del riferimento.

Nel sistema di riferimento cilindrico (C) in fig. 2-5b e fig. 2-11b sono espresse le coordinate della posizione desiderata $A_2 (r + \Delta r, \varphi_z + \Delta\varphi_z, z + \Delta z)$ e di quella effettiva $A_1 (r, \varphi_z, z)$. Ponendo per semplicità $\varphi_z = 0, \Delta z = \Delta r, z = 0$ l'errore risultante effettuando le sostituzioni nella (2.2) è:

$$\Delta_{CC} = \overline{A_1 A_2} = \sqrt{2 \cdot \Delta r^2 + 2 \cdot (1 - \cos \Delta\varphi_z) \cdot (r \cdot \Delta r + r^2)} \dots\dots\dots (2.3)$$

L'errore Δ_{CC} dipende dalla distanza r della testa dal centro del riferimento. Maggiore è la distanza, maggiore sarà l'errore.

Nel sistema di riferimento sferico (S) in fig. 2-5c e fig.2-11c le coordinate dei punti A_1 e A_2 sono espresse come: $A_1 (r, \varphi_z, \varphi_x)$, $A_2 (r + \Delta r, \varphi_x + \Delta\varphi_x, \varphi_z + \Delta\varphi_z)$. Assumendo per semplicità $\varphi_x = 0$ e $\varphi_z = 0$ e $\Delta\varphi_x = \Delta\varphi_z = \Delta\varphi$, l'errore risultante sarà:

$$\Delta_{CC} = \overline{A_1 A_2} = \sqrt{2 \cdot (r^2 + r \cdot \Delta r) \cdot \sin^2 \Delta\varphi + \Delta r^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Come nel caso cilindrico, anche stavolta l'errore dipende dalla distanza r della testa rispetto alla posizione iniziale. Maggiore è la distanza, maggiore sarà l'errore.

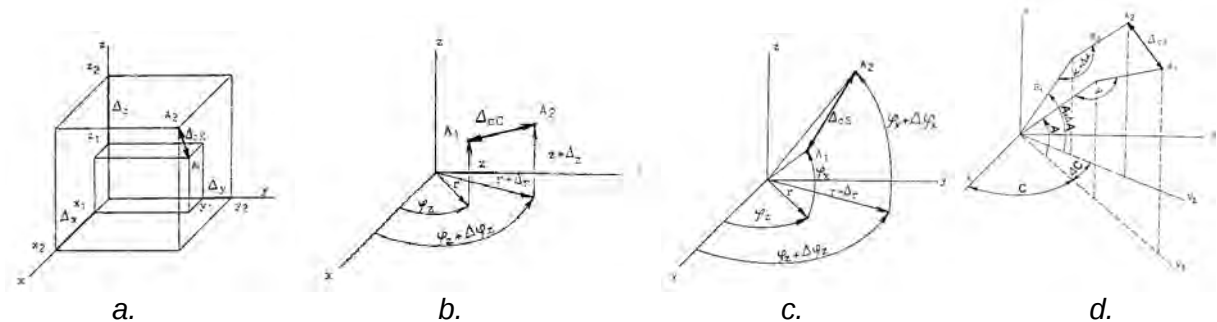


Fig. 2-11 Coordinate in un sistema di riferimento cartesiano (a), cilindrico (b), sferico (c) e antropomorfo (d)

Nel sistema di riferimento antropomorfo (multiangolare) in fig. 2-5d la posizione desiderata è espressa come $A_2 (R_1, \varphi_x + \Delta\varphi_x, \varphi_z + \Delta\varphi_z, R_2, \alpha + \Delta\alpha)$ mentre le coordinate di quella effettiva sono $A_1 (R_1, \varphi_x, \varphi_z, R_2, \alpha)$, che in coordinate cartesiane diventano (cfr fig 2.10d):

1. A_1 :

$$x_1 = [R_1 \cos \varphi_x + R_2 \cos (\alpha - \pi + \varphi_x)] \cos \varphi_z$$

$$y_1 = [R_1 \cos \varphi_x + R_2 \cos (\alpha - \pi + \varphi_x)] \sin \varphi_z$$

$$z_1 = R_1 \sin \varphi_x + R_2 \sin (\alpha - \pi + \varphi_x)$$

2. A_2 :

$$x_2 = \cos (\varphi_z + \Delta\varphi_z) R_1 \cos (\varphi_x + \Delta\varphi_x) + R_2 \cos (\alpha - \pi + \varphi_x + \Delta\varphi_x + \Delta\alpha)$$

$$y_2 = \sin (\varphi_z + \Delta\varphi_z) R_1 \cos (\varphi_x + \Delta\varphi_x) + R_2 \cos (\alpha - \pi + \varphi_x + \Delta\varphi_x + \Delta\alpha)$$

$$z_2 = R_1 \sin (\varphi_x + \Delta\varphi_x) + R_2 \sin (\alpha - \pi + \varphi_x + \Delta\varphi_x + \Delta\alpha)$$

In questo caso, la posizione del punto di riferimento B_r , che si trova all'estremità del braccio R_2 , è influenzata non solo da φ_z e α , che dipendono dai bracci R_2 e R_1 , ma anche dall'angolo φ_x , e tutto ciò anche mantenendo costante φ . L'angolo φ influenza la distanza del punto di riferimento B_r rispetto al centro del riferimento, che dipende anche dalla lunghezza dei bracci R_1 e R_2 . Assumendo per semplicità $\varphi_z = 0$ e $\varphi_x = 0$, cioè che il sistema di riferimento è orientato in modo che l'asse x si allineato al braccio $R (R_1)$ e che $\Delta\varphi_x = \Delta\alpha = \Delta\varphi$, $R_1 = R_2 = R$, e infine $\alpha = \pi$, cioè che il braccio R_2 è allineato ad R_1 lungo l'asse x , e

dunque che il punto di riferimento B_r si trova alla massima distanza dal centro del riferimento, l'errore risultante sostituendo tali valori in (2.2):

$$\Delta_{cA} = \overline{A_1 A_2} = \sqrt{[R \cdot \cos \Delta \varphi \cdot (\cos \Delta \varphi + \cos 2\Delta \varphi) - 2R]^2 + [R \cdot \sin \Delta \varphi \cdot (\cos \Delta \varphi + \cos 2\Delta \varphi)]^2 + [R \cdot (\sin \Delta \varphi + \sin 2\Delta \varphi)]^2}$$

da cui sviluppando:

$$\Delta_{cA} = 2 \cdot R \sqrt{\sin^2 \Delta \varphi + 0,5 \cdot \sin \Delta \varphi \cdot \sin 2\Delta \varphi - 0,5 \cdot \cos \Delta \varphi \cdot \cos 2\Delta \varphi + 0,5} \dots \dots \dots (2.5)$$

Ad esempio assumendo $R = 1\,000\text{ mm}$, $\Delta \varphi = 10'$, $\Delta = 0,1\text{ mm}$ il risultato è:
 $\Delta_{cK} = 0,2\text{ mm}$, $\Delta_{cC} = 2,9\text{ mm}$, $\Delta_{cS} = 4,1\text{ mm}$, $\Delta_{cA} = 10,5\text{ mm}$ e ancora assumendo che il punto di riferimento B_r si trovi nella posizione di volta in volta più sfavorevole rispetto ai diversi sistemi di riferimento otteniamo:

$$\Delta_{cA} = 52,5 \Delta_{cK} \qquad \Delta_{cS} = 20,5 \Delta_{cK} \qquad \Delta_{cC} = 14,5 \Delta_{cK}$$

L'analisi dei 4 sistemi di riferimento mostra che, a parità di accuratezza della meccanica dei manipolatori, un robot industriale operante senza feedback di errore, composto di unità regolabili nel sistema TTT, ad esempio posizionamento nel sistema di riferimento cartesiano „K“, sarà il più accurato.

2.1.5. Robot industriali a cinematica parallela

Recentemente, hanno trovato applicazione alcune interessanti soluzioni, che derivano dall'idea di fissare l'attrezzo di taglio ad una tavola (piattaforma) tenuta da 3 sospensioni di lunghezza variabile e dotate di un giunto articolato che ne permette la rotazione durante la lavorazione. Siccome sono necessarie almeno 3 sospensioni per fissare univocamente la posizione del piano nello spazio e l'uso di 6 sospensioni si è rivelato ottimale, tale sistema è comunemente chiamato HEXAPOD, progettato da V.Gogh nel 1949. Nel 1965 D.Stewart ha studiato le caratteristiche di un semplice HEXAPOD, che viene comunemente chiamato "Piattaforma di Stewart".

A differenza delle macchine a cinematica seriale, il cui moto dipende dalla combinazione di rotazioni e traslazioni dei suoi giunti, il moto di un HEXAPOD dipende dal controllo contemporaneo di 6 (o almeno 3) sospensioni di lunghezza variabile dotate di giunti che consentono il posizionamento della piattaforma di Stewart nello spazio. Sono dunque **macchine a struttura cinematica parallela**. Negli anni 1970-1990, ne sono stati realizzati diversi modelli, che presentavano comunque problematiche relative soprattutto alla parte hardware e software. Una rivoluzione in questo campo è stata portata da due produttori: GEODETICS and INGERSOLL.

Oltre ad una cinematica interamente parallela con 6 gradi di libertà, come i comuni HEXAPOD, è stato sviluppato **un sistema di centraggio Dyna-M con una struttura a guida ibrida** all'interno del progetto BMBF DYNAMIL. Queste novità nei principi delle strutture cinematiche parallele non potevano non influenzare la robotica industriale. Il **robot TRICEPT HP 1**, presentato da COMAU-Division Robotica all'esposizione internazionale EMO-95 a Milano, è dotato di un meccanismo di orientamento basato sulla combinazione di comuni coppie rotoidali. Esso comunque è montato su un supporto, sospeso e posizionato come una piattaforma di Stewart controllata da 3 pistoni di lunghezza variabile in forma di giunti rotanti. Il telaio di supporto del TRICEPT HP 1 consiste di una colonna dotata di base fissa. All'estremità superiore della colonna è agganciato un braccio-guida a forma di U, al quale sono agganciate i tre bracci verticali – unità ad attuazione lineare (prismatica). Il

consueto meccanismo di posizionamento (costituito una sequenza di coppie cinematica e attuatori in serie) è dunque sostituito da un sistema di pistoni che nell'estremità inferiore sono agganciati alla piattaforma di Stewart. I giunti si trovano in corrispondenza dei vertici del triangolo equilatero al centro del quale è posizionato il punto di riferimento "Br", che è il punto al quale si connette il meccanismo di orientamento del robot. Tale meccanismo è governato da un sistema di ingranaggi alloggiati nel cilindro verticale situato al centro dei tre attuatori (cfr. fig. 2-11b). Nonostante dal punto di vista morfologico il dispositivo possa essere classificato come ibrido, (cfr schema in fig. 2-11a), **il suo meccanismo di posizionamento è a tutti gli effetti puramente parallelo.**

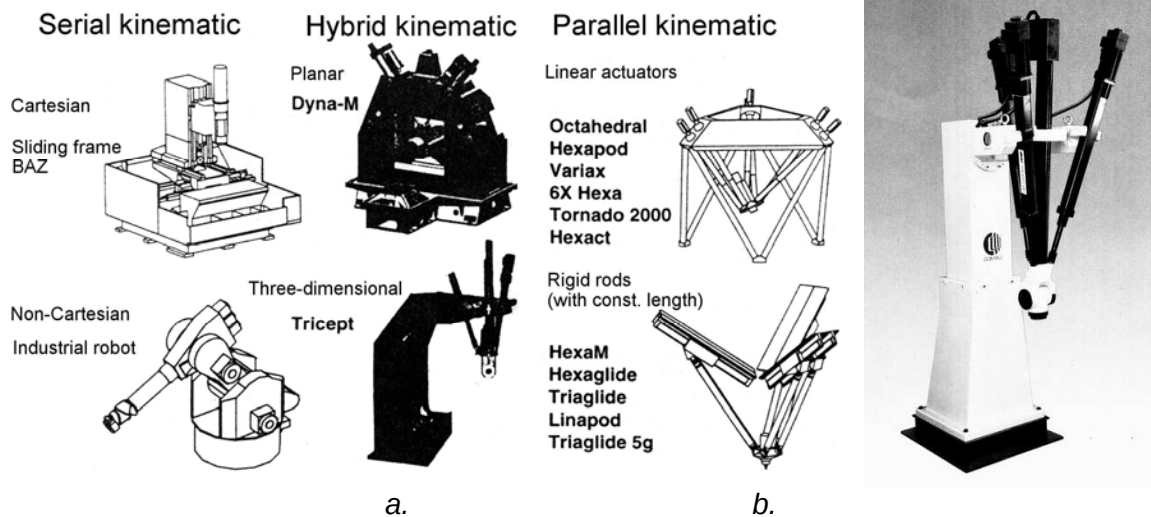


Fig. 2-12 Classificazione morfologica delle strutture cinematiche (a) e robot industriale TRICEPT HP 1 a struttura ibrida (b)

2.1.6. Veicoli a guida automatica – AGV

La tipologia più semplice di robot mobili è rappresentata dai veicoli a guida automatica (Automated guided vehicle, AGV), pensati come dispositivi interoperazionali in sistemi di produzione flessibile (Flexible manufacturing systems, FMS). Gli AGV sono utilizzati per il trasporto di elementi pesanti, componenti, attrezzi, ecc. ad esempio da una macchina produttiva ad un'altra, principalmente fra centri di lavorazione (machining centres, MC). Il loro svantaggio è la necessità di avere un percorso predefinito, solitamente realizzato con un conduttore integrato all'interno del pavimento che fa da traccia magnetica.

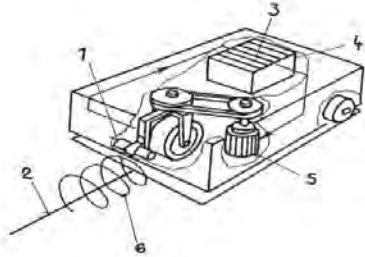


Fig. 2-13 Componenti del sistema di guida degli AGVs

1- Antenna rilevatrice con avvolgimenti,
2-cavo interrato,
3-Sistema operativo elettronico,
4-amplificatore, 5-meccanismo di guida,
6-Campo magnetico

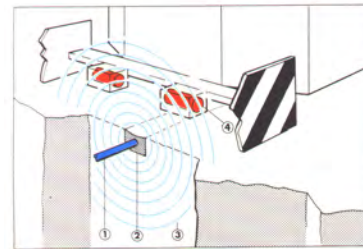


Fig. 2-14 Principio di rilievo del percorso:

1-Condotto, 2-canaletta
3-campo magnetico, 4-avvolgimento

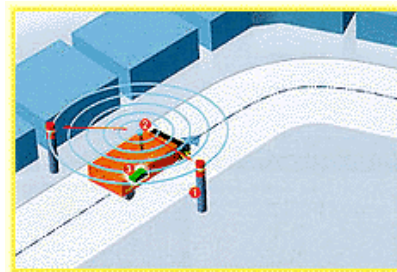


Fig. 2-15 Navigazione laser per AGV

AGV sono dotate di accumulatori ricaricabili con connessione automatica, a pavimento (Fig. 2-16) o anche aerea (Fig. 2-17). In alternativa possono essere dotate di un caricabatteria interno connesso manualmente o automaticamente.

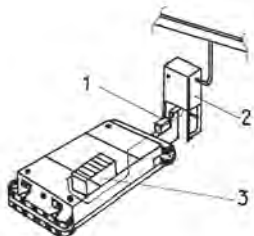


Fig. 2-16 Ricarica con connessione a pavimento:

1-Connettore, 2-Caricabatteria esterno, 3-batteria

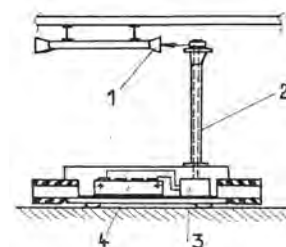


Fig. 2-17 Ricarica con connessione automatica aerea:

1-connettore, 2-polo di ricarica, 3-caricabatteria interno, 4-batteria

Quando il livello di carica si avvicina a quello minimo, il sistema di controllo batteria genera un segnale. Il segnale di minimo batteria è tarato in modo da consentire al veicolo di terminare la propria attività e andare alla stazione di carica.

2.2. ESEMPI DI IR&M RAPPRESENTATIVI DAL PUNTO DI VISTA COSTRUTTIVO

2.2.1. Tipologie di base

Le tipologie di base di robot industriali derivano dalla combinazione di coppie cinematiche del tipo a) TTT, b) RTT, c) RRT, d) RRR che consentono di raggiungere gli spazi di lavoro descritti in Fig. 2-5.

aa) Lo schema XYZ in combinazione con quello TTT si caratterizza per il moto verticale dell'organo terminale. lo spazio di raggiungibilità è costituito da un cuboide. Il design è spesso caratterizzato da un portale a montante singolo (Fig. 2-18a,b), o multiplo (Fig. 2-18c,d,e,f,g). La coppia cinematica prismatica orizzontale per il movimento lungo l'asse Y è solitamente del tipo a scorrimento (Fig. 2-2a), come il robot MANTA (Fig. 2-18a), oppure a sospensione (Fig. 2-2b), come il robot PRKM-20 (Fig. 2-18b).

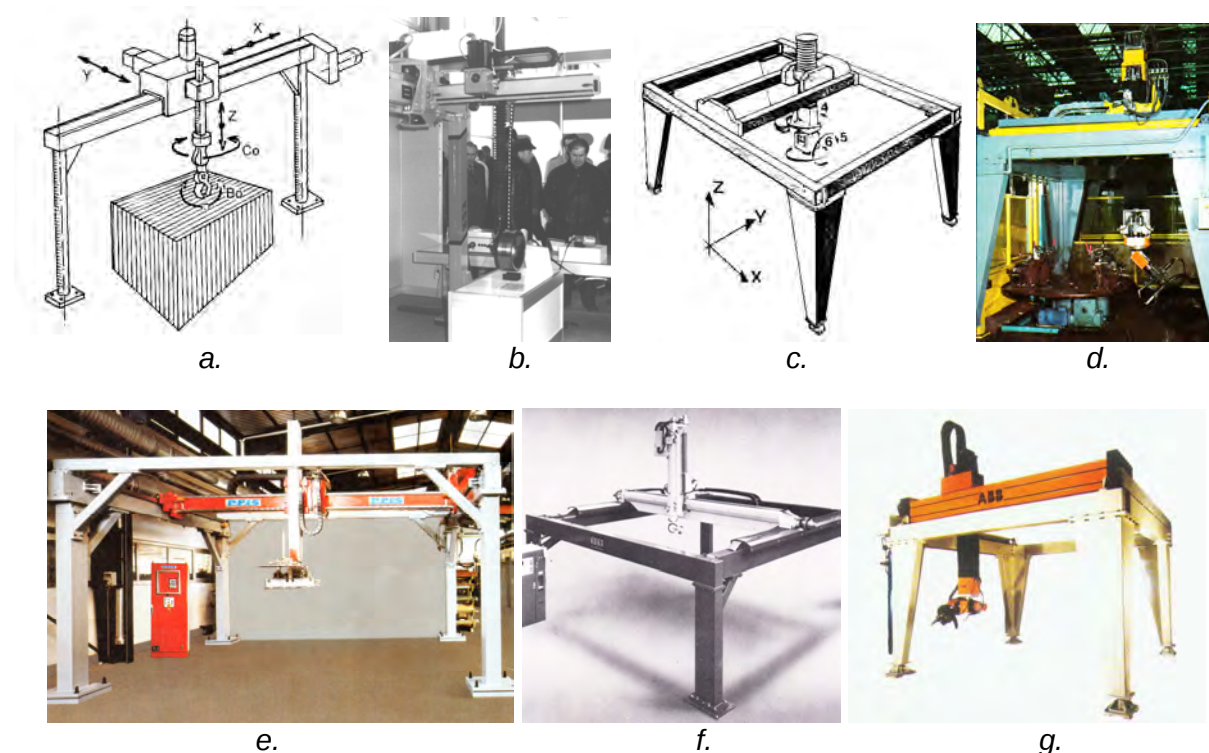


Fig. 2-18 Schema di robot a portale (a) MANTA (J) e PRKM-20 (BUT in Brno - CZ) (b), il francese RENAULT PORTIQUE-80 (c,d), i tedeschi REIS (e) e KUKA (f) e lo svedese ABB (g):

ba) Lo schema CZY (CZX) nella combinazione RTT è privo di moto verticale per l'organo terminale; è interessante il VERSATRAN-500 (Fig. 2-19a). E' il tipo più diffuso (si veda ad esempio il robot BEROE in Fig. 2-1b e Fig. 2-19b) con alcune modifiche nell'estensione orizzontale. Il volume di lavoro è costituito dal tronco di cilindro mostrato in Fig. 2-5b.

ca) Il tipico schema CBX (CAY) nella combinazione RRT è realizzato dal robot UNIMATE (USA). Il volume di lavoro è una porzione di sfera come in Fig. 2-5c.

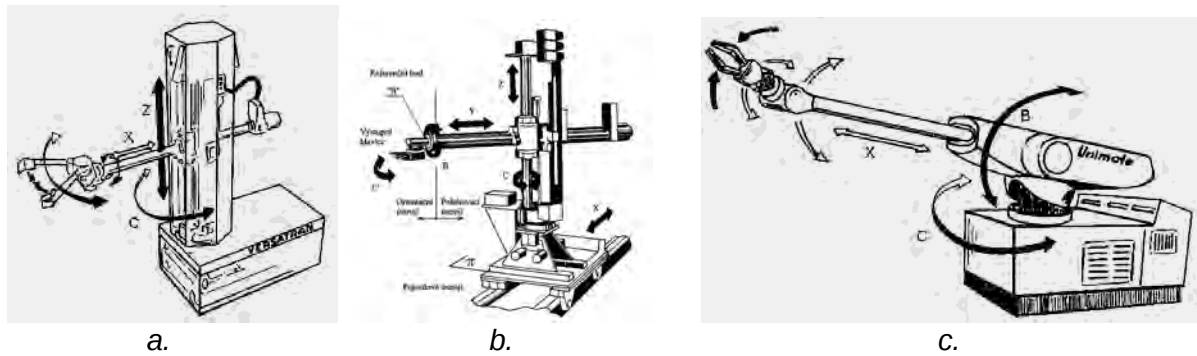


Fig. 2-19 Schemi di robot industriali:

a. VERSATRAN-500 (GB); b. BEROE RB-321 (BG); c. UNIMATE-2000 (USA)

da) Alcuni dei robot industriali realizzati dalle più note aziende di robot, come ABB, ASEA (S), KUKA, REIS (D), FANUC (J) e altre, sono concepiti secondo lo schema CAA' (CBB'). La maggior parte di essi è programmato da istruzioni mediate; il norvegese TRALLFA (ora ABB), o il giapponese MITSUBISHI, è programmato da istruzioni dirette (Fig. 1-2).

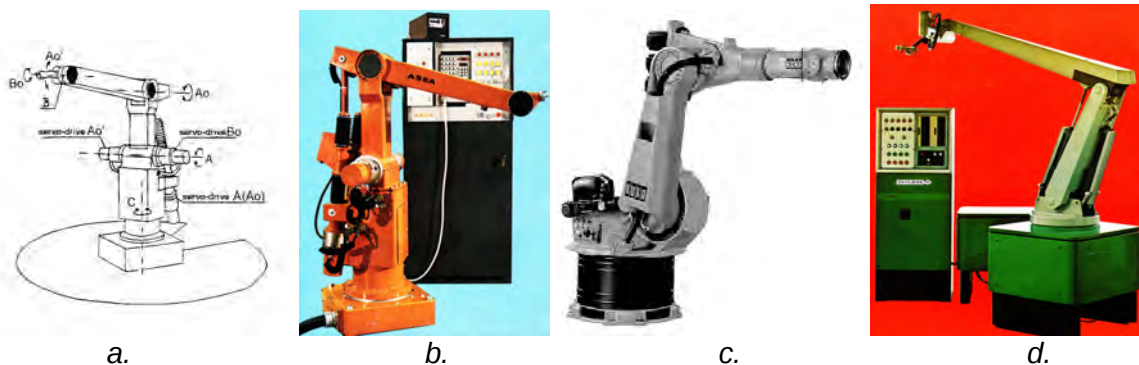


Fig. 2-20 Schema e design dello svedese ASEA-6 (a,b), il tedesco KUKA KR-125 e il norvegese TRALLFA (d), oggi divenuto ABB (S)

2.2.2. Tipologie di robot industriali derivate

Tipologie derivate da combinazioni di differenti schemi KP

Le più importanti tipologie derivate sono quelle ottenute da combinazioni TTT (XZY e ZXY), robot a parete in combinazione RTT (CYZ) e il tipo SCARA (CC'Z) nella combinazione RRT. Con riferimento alla combinazione TTT, dei tre schemi analizzati, fra i quali lo schema XYZ, specialmente nella versione a portale, può essere considerato il fondamentale; gli altri due, XZY e ZXY, rappresentano schemi derivati.

ab) Lo schema XZY (TTT) a differenza dello schema di base, è dotato di moto verticale lungo l'asse z al centro della catena cinematica. Da ciò nasce la necessità di dimensionare correttamente gli attuatori lungo tale asse. Questo è ciò che comunemente accade anche per la tipologia di base VERSATRAN nella combinazione RTT (fig. 2-19a), e questo tipo di robot si presenta spesso anche in combinazione TTT. E' il caso del robot ROBOLANG-50 dell'azienda francese LANGUAGEPIN, in fig. 2-21a.

bb) Lo schema ZXY (TTT) si caratterizza per avere un asse verticale proprio come primo elemento della catena cinematica (lungo l'asse z) e dunque in tale direzione si hanno i maggiori problemi di dimensionamento per gli attuatori. Tale schema sembrerebbe insolito, ma nonostante ciò viene utilizzato in alcuni casi. Un esempio è il LIMAT-2000 dell'azienda austriaca IGM (fig. 2-21b,c).

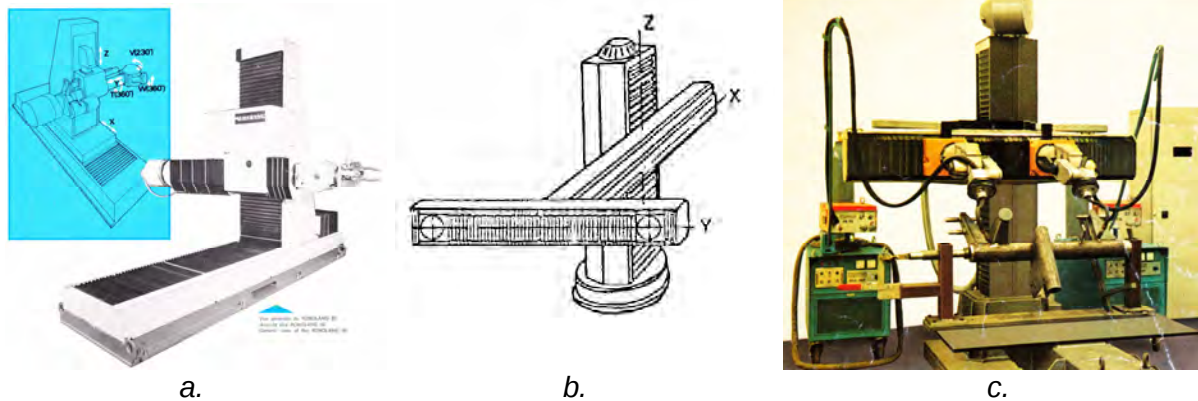


Fig. 2-21 Schema e design di robot industriali: a. LANGUEPIN ROBOLANG-50 (F) e IGM LIMAT-2000 (A)(b,c)

cb) Lo schema CYZ (RTT) è caratterizzato da un "overhang" (O). Analogamente alle tipologie di base in combinazione TTT è dotato di movimento verticale lungo l'asse z alla fine della catena cinematica (al contrario del VERSATRAN in combinazione RTT). Dal punto di vista pratico, questo schema è consigliabile per il fatto di avere più basse richieste dimensionali per l'elemento terminale della BKC, e dalla possibilità di operare superando un ostacolo verticale. In ogni caso, non è stato mai prodotto per molto tempo. In fig. 2-22 è mostrato uno dei componenti del sistema robotico modulare APR-2,5, dell'azienda VUKOV di Prešov, tipo 03.

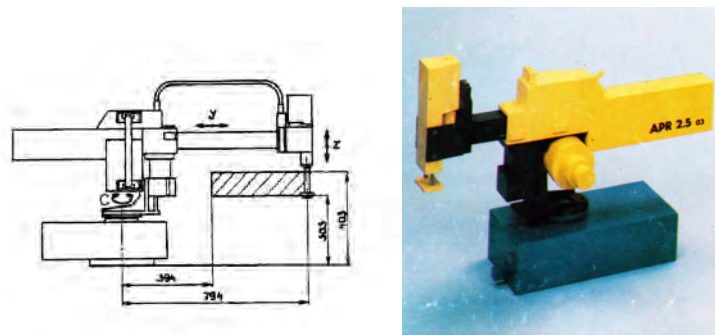


Fig. 2-22 Schema e modello del robot modulare APR 2,5 03 (SK)

db) Lo schema CC'Z (RRT), analogo a quello precedente del tipo derivato in combinazione RRT, non era mai stato utilizzato in pratica e apparve nel 1986 quasi contemporaneamente in diverse aziende con il nuovo nome di "SCARA".

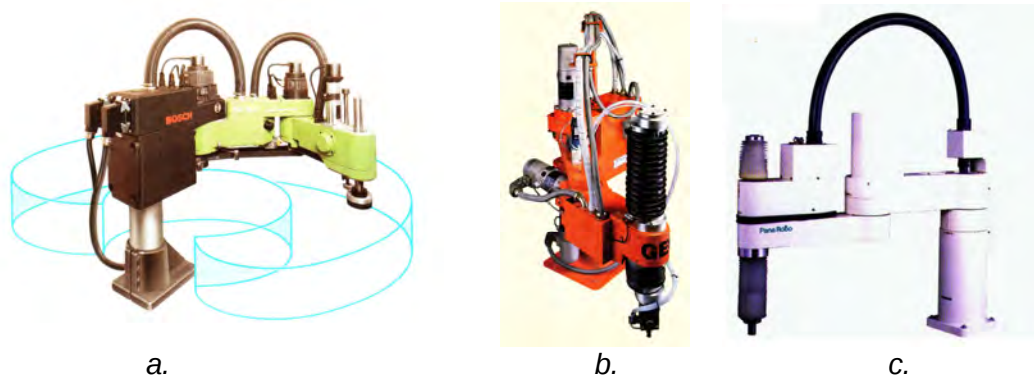


Fig. 2-23 Robot industriali del tipo "SCARA"

a.: BOSCH SR 800 (D), b.: GEC „BODY“ (GB), c.: Pana-Robot Hr-155C (J)

Questo robot, diversamente dagli altri in combinazione RRT, che nella configurazione di base è rappresentato dal sistema sferico di UNIMATE, trasforma il suo volume di lavoro in un sistema cilindrico. Pertanto avviene un cambiamento del layout sferico in uno cilindrico e per la precisione all'interno della combinazione di base KD RRT.

eb) Lo schema ABZ (RRT) deriva direttamente dal tipo UNIMATE; si tratta comunque di un robot montato a parete. Una soluzione pratica è ad esempio il robot KAWASAKI-UNIMATE. I problemi tecnici riguardano soprattutto i componenti oleodinamici e dinamici dovuti alla gravità. In Fig. 2-24 è mostrato un robot UNIMATE montato a parete, installato al di sopra di una linea di saldatura di scocche di automobili.

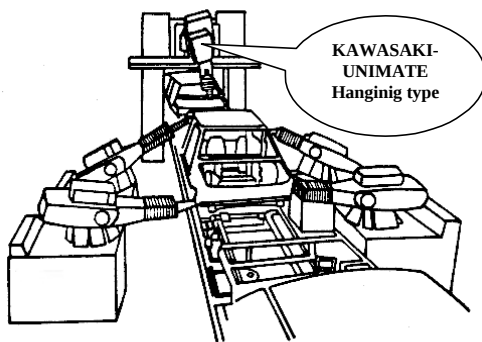


Fig. 2-24 Linea di saldatura con robot UNIMATE in configurazione di base e a parete (J)

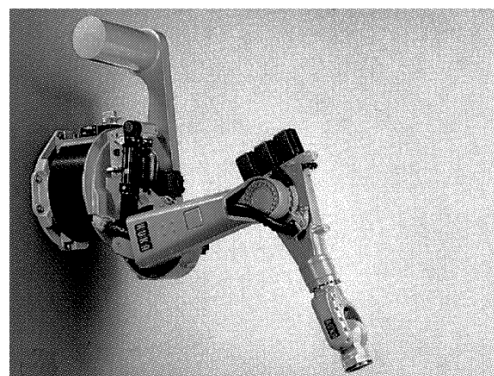


Fig. 2-25 Robot KUKA KR 125 „Wandrobot“

fb) il layout ABB' (BAA') è un layout derivato direttamente dal modello base della combinazione KD RRR. Un modello side-hanging simile al precedente caso è quello derivato dal modello base del robot KUKA, (vedi Fig. 2-26c) che presenta il layout delle coppie cinematiche CAA' nella combinazione di base RRR; il robot derivato è il KUKA KR 125, un robot industriale montato a parete (D) avente il layout delle coppie cinematiche dell'ABB' (BAA').

In questo caso, l'utilizzo di una bilancia è osservabile da un punto di vista sia morfologico, sia strutturale, vedi Fig. 2-25.

2.2.3. Tipologie di robot industriali derivati da diverse combinazioni di coppie cinematiche

ac) Il layout del ZCY (RTR) si avvicina molto a quello dei modelli base di robot industriali nella combinazione RRT (VERSATRAN). Solo le prime due coppie cinematiche sono scambiate. Si tratta di una differenza simile a quella realizzata all'interno del layout della combinazione TTT. Come primo movimento, quindi, è eseguita la traslazione verticale nella direzione dell'asse z, come nel caso del robot IGM LIMAT-2000, che è piuttosto un'eccezione nella sua categoria del modello "K". Al contrario, ci sono diversi modelli che derivano dalla combinazione RTR, e questi robot sono spesso incorrettamente inclusi tra i modelli "c". L'originale robot cecoslovacco PR 16-P della compagnia VUKOV in Presov fu costruito con questo sistema. Oggi la compagnia svedese ELEKTROLUX può essere considerata la principale produttrice di questi robot.

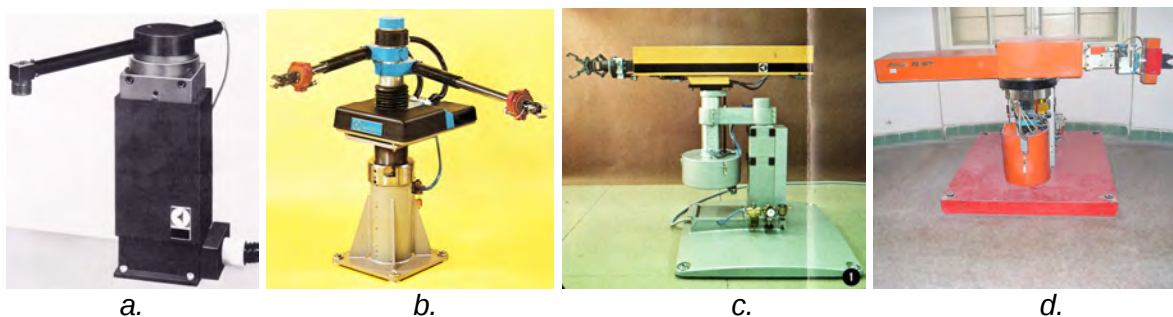


Fig. 2-26 Diverse generazioni di robot industriali della ELEKTROLUX - MHU (S) e un robot della VUKOV

a.: MHU Minior; b.: MHU Junior; c.: MHU Senior; d.: PR-16P

Nelle altre combinazioni derivate TTR e RTR, sono stati analizzati altri possibili layout; comunque, il loro uso pratico ancora non è conosciuto. Il più interessante layout derivato dalla combinazione TRR corrisponde al layout CC'Z derivato dalla combinazione RRT.

bc) il layout ZCC' (TRR) è praticamente il modello SCARA, ma con il trasferimento del movimento finale verticale della catena cinematica al suo inizio. Questo layout è simile al layout derivato ZXY (IGM LIMAT-2000 ROBOT) dalla combinazione base TTT (vedi figura 2-11 c), ma al contrario di esso, ha avuto largo impiego negli ultimi tempi. Uno dei primi modelli appartenenti a tale categoria fu sviluppato dalla compagnia francese RENAULT, sotto il nome di ROBOT HORIZONTAL 80 (vedi fig. 2.27).

cc) il layout XAA' è una variante molto interessante del precedente layout ZCC'. Esso è praticamente il suo ri-orientamento alla posizione orizzontale mantenendo la stessa combinazione.

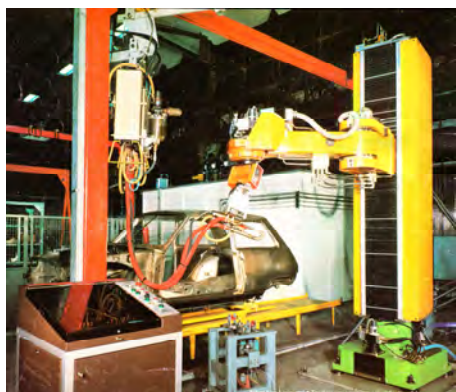
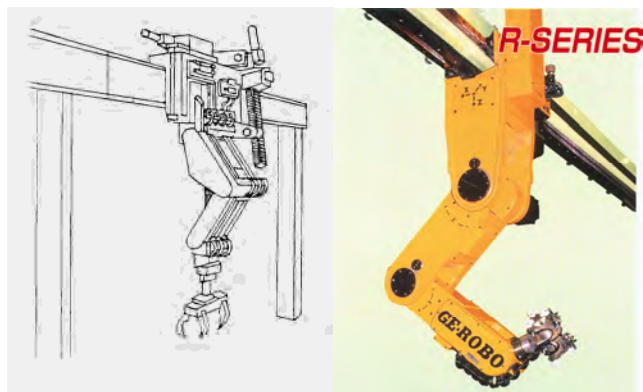


Fig. 2-27 Robot industriale RENAULT HORIZONTAL-80 (F)



a.

b.

Fig. 2-28 Robot industriali:

a. UM-160 (RUS)

b. GE-ROBO R-60 (J)

Dallo schema e dalla vista assonometrica del robot UM-160 in figura 2-28a appare evidente che esso è un dispositivo che opera con bracci rotazionali molto simili ai sistemi della combinazione RRR (ASEA, TRALLFA...); tuttavia, invece della prima rotazione è utilizzato un movimento dritto lungo entrambi gli assi. Il volume di lavoro, pertanto, passa da un toro rotazionale (antropomorfo, angolare, multi angolare) a un comune segmento cilindrico, come nei casi ad e bc precedentemente menzionati. Un interessante esempio progettuale di questa tipologia di robot è rappresentato dal robot giapponese GE-ROBO R-60 in figura 2.28.

3. END-EFFECTORS

3.1. Applicazione e classificazione degli end-effectors

La catena cinematica aperta dei robot e dei manipolatori industriali (IR&M) si chiude con l'apparato operativo stesso (struttura meccanica – end-effector – testa), secondo lo specifico attrezzaggio. Per quanto riguarda i robot e i manipolatori industriali ciò che conta è la specifica applicazione:

1. Inserimento di oggetti all'interno dei contenitori di lavoro di attrezzature di produzione e loro estrazione;
2. Manipolazione inter-stazione;
3. Operazioni tecnologiche;
4. Operazioni di controllo;
5. Compiti speciali.

Pertanto, il termine “pinza” (“gripper”), usato frequentemente per designare l'end-effector di robot e manipolatori industriali, non è proprio adeguato e deve essere inteso come una delle tante teste di uscita (end-effectors) di un IR&M, che consentono le suddette operazioni. L'end-effector di per sé può essere applicato a un qualsivoglia robot e, al pari di un sistema di orientamento, esso non modifica in maniera apprezzabile la morfologia del robot (architettura).

Dal punto di vista costruttivo gli end-effectors possono essere classificati in teste:

- tecnologiche
- di manipolazione (grippers)
- combinate
- speciali

Il progresso dell'automatizzazione ha determinato la necessità della loro sostituzione automatica durante il processo di lavorazione, ma soprattutto della loro adattabilità, che è uno degli elementi chiave per l'autonomia e per il miglioramento dell'intelligenza artificiale dei sistemi robotici.

3.2. Teste tecnologiche

Una tipica operazione tecnologica, oggetto di applicazioni robotiche, è la saldatura elettrica e l'applicazione di vernici e rivestimenti protettivi, o anche altre operazioni tecnologiche effettuate a macchina (ad esempio macchina manuale di rettifica, ecc.) o con l'uso di uno strumento apposito.

Le teste tecnologiche sono dunque classificate in teste per:

- saldatura a fusione elettrica, ovvero:
 - saldatura ad arco (fig. 3-1a)
 - saldatura a punti (fig. 3-1b)
- Spruzzaggio di vernici e rivestimenti protettivi (Fig. 1-2)
- Taglio tramite apposito attrezzaggio (fig. 3-1c)
- Operazioni di montaggio, ovvero:
 - montaggio semplice, ad esempio assemblaggio di componenti (operazione di manipolazione)
 - giunzione (cucitura, chiodatura, ecc.)
 - incollaggio
- Operazioni di controllo
- Compiti speciali

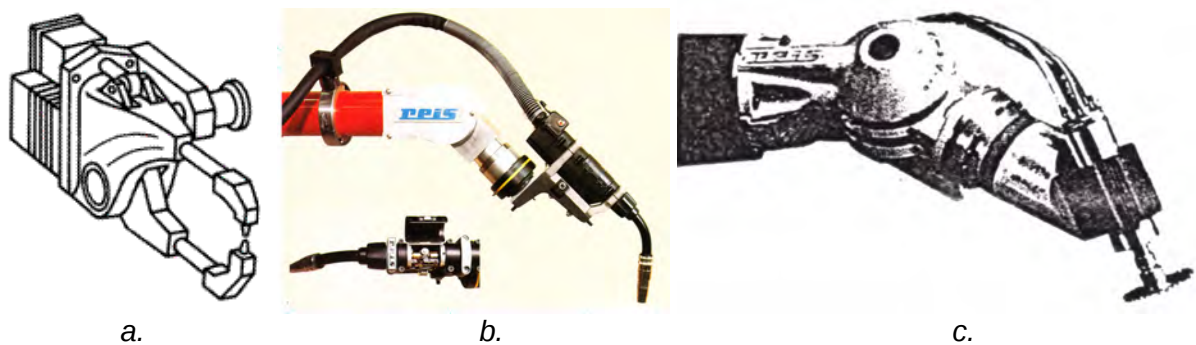


Fig. 3-1 Esempi di teste di IR&M

- a. Testa per saldatura a punti
- b. Testa per saldatura ad arco
- c. Testa da taglio

Un più largo impiego di queste teste in futuro richiede l'uso di sensori per i sistemi di controllo adattativi.

3.3. Teste di manipolazione – grippers

Classificazione delle componenti di presa

Le teste di manipolazione (presa) sono finalizzate ad afferrare oggetti per una loro ulteriore manipolazione. Generalmente tali teste sono progettate per specifiche applicazioni gestite direttamente da utenti di robot e manipolatori industriali. Le parti delle teste a diretto contatto con gli oggetti manipolati sono dette “componenti di presa”. A seconda del tipo di forza di contatto, tali componenti di presa sono classificate in:

- meccaniche
- magnetiche
- pneumatiche

Allo stesso tempo è possibile dividere le componenti di presa in:

- passive
- attive

Le componenti di presa passive non consentono di per sè il controllo delle forze di contatto, contrariamente a quelle attive. Le teste di presa basate su componenti passivi generalmente consentono di afferrare un oggetto, ma il suo rilascio è determinato da un'azione esterna.

Da questo punto di vista, ai componenti di presa si applica la seguente classificazione:

Componenti di presa:

<u>meccaniche:</u>	- passive:	- fixed and adjustable props - flexible and suspended jaws
	- attive:	- con motore idraulico - con motore pneumatico - con motore elettrico - con elettromagnete
<u>magnetiche:</u>	- passive:	- magneti permanenti
	- attive:	- elettromagneti
<u>pneumatiche:</u>	- passive:	- ventose (oppure: con valvola ausiliaria)
	- attive:	- con pompa a vuoto - con un eiettore
<u>speciali</u>		

componenti di presa passivi:

1. Componenti di presa passivi

Oltre i più semplici componenti meccanici passivi, che nella pratica servono a prendere, trasferire e metter via parti, ci sono anche altre interessanti soluzioni, con pinze flessibili o mobili ovvero collari di presa, mostrate in fig. 3-2.

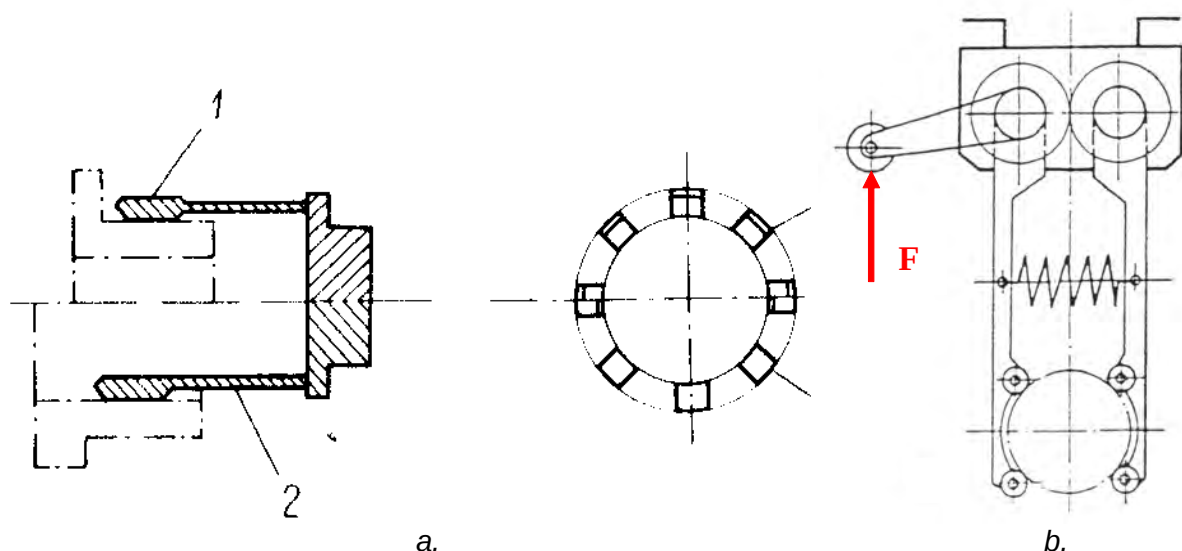


Fig. 3-2 Esempi di sistemi di presa meccanici passivi

a: con pinze elastiche, b: con pinze mobili

Il design di un collare di presa (con pinze elastiche) è mostrato in fig. 3-2a. La presa è ottenuta facendo aderire le pinze flessibili sulla superficie esterna della parte (– 1 – in alto in figura, sopra l'asse), oppure su quella interna (– 2 – in basso in figura, sotto l'asse). Il movimento del braccio robotico è usato per la presa; per il rilascio si può usare il movimento contrario del braccio dopo che l'oggetto viene preso da un altro manipolatore, o agganciato nell'accessorio di rilascio della macchina, tirato giù da un gancio unidirezionale nel feeder ecc.. A volte il collare di presa può essere completato da un eiettore che spinge la parte fuori dalla sua morsa. Ad esempio si può usare un cilindro pneumatico, ecc. I collari di presa (grippers) sono utilizzabili per parti piccole e leggere con superfici lisce.

In fig. 3-2b è mostrato un esempio di testa con una coppia di ganasce mobili rotanti tenute insieme da una molla. Il principio di presa e rilascio è simile a quello dei collari di presa. Affinchè la superficie della parte non sia danneggiata durante l'avvicinamento vi sono delle rotelline alle estremità delle pinze. Il rilascio della parte può essere ottenuto azionando una leva collegata ad una ruota che apre le pinze sotto l'azione della forza F.

2. Componenti di presa magnetiche passive

Si tratta di componenti di presa a magneti permanenti. Sono utilizzati per la manipolazione di oggetti ferromagnetici leggeri e di piccole dimensioni. Ad esempio per stampati di metallo, anelli, cuscinetti ecc. Il loro grande vantaggio sta soprattutto nella semplice costruzione, generalmente un sistema di magneti permanenti. Il numero e la posizione dei magneti vengono scelti in base alla forma dell'oggetto e alla forza di presa necessaria. Uno svantaggio di questo sistema è la necessità di meccanismi aggiuntivi per la separazione degli oggetti afferrati dalle pinze. Nei casi più semplici il rilascio si ottiene con l'allontanamento dell'oggetto dal gripper grazie al movimento tangenziale del braccio del robot, mentre l'oggetto è frenato da una battuta di arresto o catturato da un dispositivo. La grande maggioranza delle pinze a magneti permanenti utilizza un proprio meccanismo per il rilascio degli oggetti presi. Questa funzione supplementare è controllata dal programma, e la fase di rilascio diventa così attiva. Il gripper in fig. 3-3 ha i magneti permanenti fissati in alloggi separati agganciati al telaio di supporto della pinza. Per l'espulsione degli oggetti afferrati viene utilizzato un cilindro pneumatico, orientato sugli oggetti afferrati, il cui pistone è collegato con la piastra di sgancio alloggiata nel cablaggio mobile del telaio di supporto.

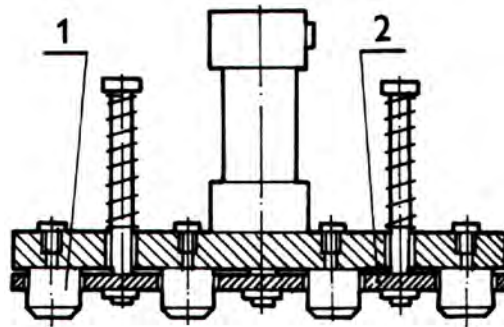


Fig. 3-3 Gripper elettromagnetico con piastra di sgancio:

1 –Alloggio dei magneti permanenti, 2 - Piastra di sgancio

Uno svantaggio è che la testa può catturare anche altri oggetti ferromagnetici, specialmente piccole componenti, ciò in alcuni casi può avere un effetto negativo, soprattutto in quanto può influenzare il corretto posizionamento dell' oggetto afferrato.

3. Componenti di presa pneumatica

I componenti passivi di presa pneumatici sono ventose a deformazione. La presa dell'oggetto avviene tramite la pressione della ventosa sulla sua superficie, perché con la deformazione della ventosa, le dimensioni del suo spazio interno si riducono e successivamente aumentano nuovamente di una certa quantità a causa della loro elasticità, ed è così che viene creato il vuoto. La forza di presa dipende anche dalla forma e dalla solidità della ventosa, oltre che dalla qualità della superficie di contatto con l'oggetto. La forza di serraggio non può essere determinata *a priori*, ma è necessario seguire le indicazioni del costruttore.

L'aderenza è una condizione essenziale per una presa sicura dell'oggetto. Essa è condizionata soprattutto dalla levigatezza e dalla qualità della superficie. Per queste ragioni, le ventose vengono utilizzate per la manipolazione di oggetti planari, per esempio lamiere, vetri, ecc. Talvolta, per garantire l'aderenza della ventosa sulla superficie dell'oggetto, vengono utilizzate sostanze viscosi; queste sostanze sono spruzzate sulla superficie prima del contatto con la ventosa.

Per le ventose sono usati due tipi di soluzioni costruttive.

In fig. 3-4a è mostrato un esempio di ventosa di gomma con perno di fissaggio. Un cilindro elastico consente anche l'adattamento ad una superficie leggermente curva dell'oggetto manipolato.

Se la superficie dell'oggetto non è sufficientemente liscia, è possibile utilizzare la soluzione in fig. 3-4b. La variazione di volume nella parte interna è ottenuta grazie ad un cilindro dotato di pistone a molla. A seconda delle dimensioni della parte flessibile interna, è possibile mantenere il vuoto anche senza una perfetta aderenza fra la striscia di gomma e la superficie dell'oggetto. La forza di presa può essere regolata mantenendo la stessa tazza di gomma, variando l'elasticità della molla.

Il rilascio di oggetti è ottenuto allo stesso modo degli altri tipi di componenti passivi di presa, preferibilmente attraverso il movimento in direzione tangenziale. Con le ventose è possibile effettuare il rilascio anche nel modo indicato in fig. 3-5. (ventose con valvole ausiliarie).

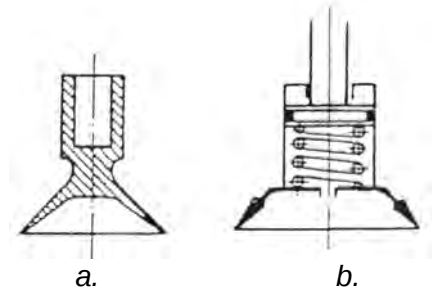


Fig. 3-4 Schema di ventosa a deformazione:
a. Ventosa di gomma fissata con un perno
b. Ventosa con pistone mobile

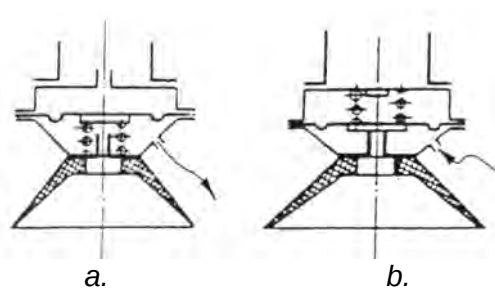


Fig. 3-5 Ventose dotate di valvole ausiliarie:
a. Rilascio oggetto con segnale di interruzione
b. Rilascio oggetto con segnale attivo

In fig. 3-5a è mostrata una ventosa dotata di valvola ausiliaria controllata per mezzo di una membrana, che viene flessa in basso dalla pressione dell'aria (segnale di azionamento), e chiude così la camera a vuoto della ventosa contro la forza della molla. Dopo l'interruzione del segnale di azionamento pneumatico sulla membrana, essa è bilanciata, viene così aperta una via indicata dalla freccia per equilibrare la pressione all'interno della ventosa con l'ambiente circostante, e la forza di serraggio viene meno senza la necessità di vincere il vuoto della ventosa. Una tale soluzione può essere realizzata in un modo simile con una valvola controllata da un elettromagnete. Con la soluzione di fig. 3-5b un impulso di pressione pneumatica viene dato sotto la membrana al rilascio dell'oggetto. Oltre alla

interruzione del vuoto all'interno della ventosa, si ottiene contemporaneamente la caduta di oggetti leggeri che potrebbero altrimenti potrebbero aderire alla ventosa.

Componenti di presa attivi:

1. Componenti meccanici di presa attivi

Le teste di presa meccaniche attive sono giustamente definite "pinze". Essi sono di solito dotati di ganasce mobili - componenti attivi di presa, il cui moto può essere governato da motori di vario genere e tipo.

L'organo di presa più adatto sarebbe una mano umana, ma la sua implementazione tecnica resta molto difficile. La soluzione a tre dita di fig. 3-15 sembra ottimale. Tuttavia, ai fini della manipolazione di oggetti ordinari, sono solitamente sufficienti due sole componenti (ganasce), che si muovono tra di loro di moto lineare (trasversale) o rotatorio. I motori che muovono queste componenti attive sono anch'essi lineari (in particolare cilindri pneumatici ed idraulici, elettromagneti con armature mobili) o rotazionali (motori pneumatici ed idraulici, motori elettrici, elettromagneti di rotazione). Tra il motore e le ganasce, è necessario installare una trasmissione, che trasmetta il moto prismatico (o rotazionale) del motore alle ganasce. Le tabelle che seguono, 3.1-3.4 mostrano diverse alternative rispetto alla cinematica delle pinze nelle trasformazioni da T1 a T4, a cui sono associate le soluzioni progettuali mostrate in fig. 3-5a-e.

Table 3.1: Kinematic structure of gripping effectors with the T1 transmission

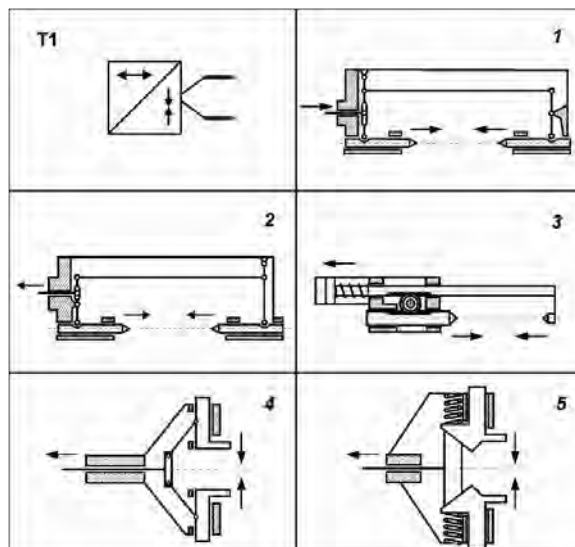


Table 3.2: Kinematic structure of grippin effectors with the T2 transmission

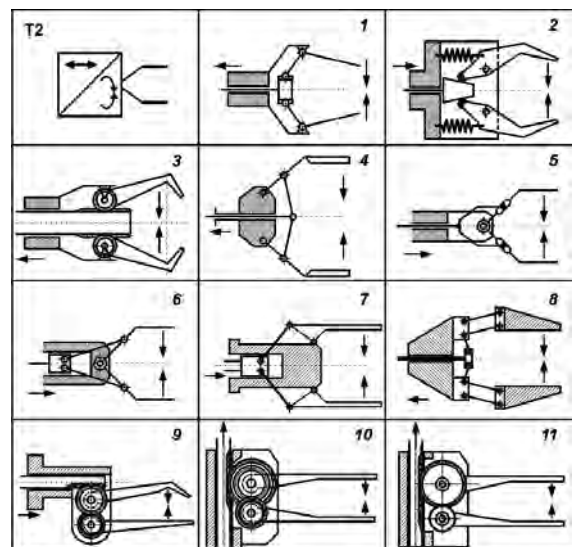


Table 3.3: Kstruttura inematic structure of gripping effectors with the T3 transmission

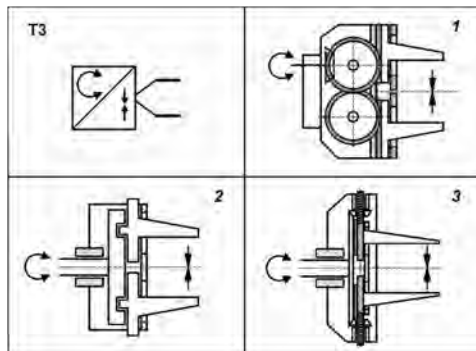
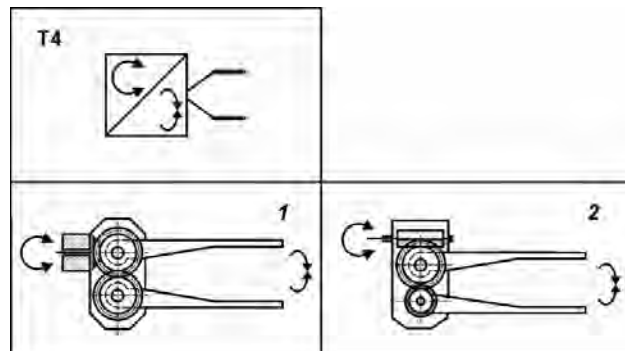


Table 3.4: Kinematic structure of gripping effectors with the T4 transmission



In fig. 3-6 sono mostrati diversi esempi di soluzioni progettuali per la trasformazione da T1 a T4, insieme al tipo di trasmissione indicato nella relativa tabella.

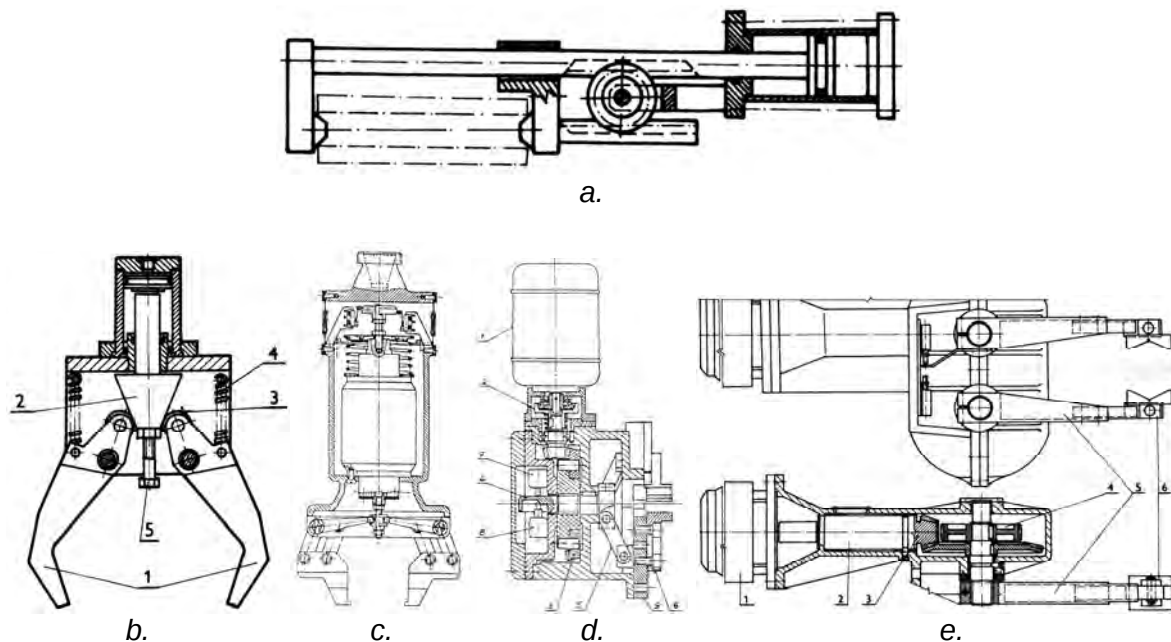


Fig. 3-6 Esempi di grippers nelle trasmissioni da T1 a T4

- a. Pinza tipo T1 governata da un motore lineare pneumatico con ganasce aperte da molle trasversali (trasmissione di tipo 3)
- b. Pinza tipo T2 governata da un cilindro idraulico e con ganasce a rotazione, aperto da molle di trazione (tipo di trasmissione 2)
- c. Pinza tipo T2 governata da un elettromagnete lineare e con ganasce a parallelogramma, chiuso da una molla di compressione (trasmissione di tipo 8)
- d. Pinza tipo T3 (tipo di trasmissione 2) con ganasce governate da un motore elettrico di rotazione mediante un innesto a frizione, per mezzo del quale è possibile regolare la forza di presa
- e. Pinza tipo T4 con trasmissione ad ingranaggi (tipo di trasmissione 1) e un motore elettrico di rotazione: 1 - motore elettrico, 2 - frizione conica, 3 - trasmissione ad ingranaggi conici, 4 - trasmissione ad ingranaggi anteriore, 5 - bracci rinforzati, 6 - ganasce

2. Componenti di presa magnetici attivi³

Le teste di presa magnetiche attive utilizzano elettromagneti generalmente alimentati in corrente continua, mentre il loro funzionamento è simile a quelle passive che utilizzano magneti permanenti; per quanto riguarda il rilascio delle parti, questa volta non è necessario strappare via l'oggetto, ma basta interrompere l'alimentazione dell'elettromagnete, i cui avvolgimenti a volte si trovano direttamente nella piastra di aggancio. A causa del campo magnetico a corrente continua, l'oggetto può magnetizzarsi, il che può causare problemi al momento del rilascio. Pertanto, in genere si effettua una demagnetizzazione invertendo temporaneamente il verso della corrente nelle bobine magnetiche. Il magnetismo residuo nell'oggetto è quindi eliminato ed il suo rilascio facilitato.

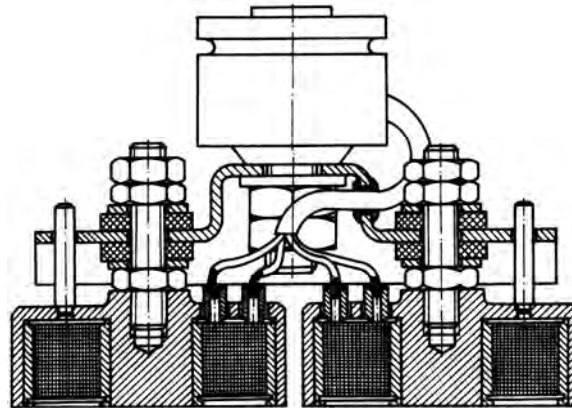


Fig. 3-7 Gripper elettromagnetico con una coppia di unità di presa

Il gripper in fig. 3-7 utilizza due unità di presa individuali dotate di elettromagneti a sezione circolare, è avvitato al braccio robotico, che è dotato di una testa di connessione ottimizzata (in termini di forma e dimensioni).

3. Componenti di presa pneumatici attivi

Tra le teste di presa attive degli IR&M vi sono sistemi pneumatici chiamati anche camere a vuoto, che utilizzano pompe a vuoto pneumatico o eiettori per il loro funzionamento. L'estrattore è un dispositivo di scarico o di pompaggio alimentato da un ugello a getto di acqua, gas o vapore. Nel caso delle pompe a vuoto, più camere a vuoto possono essere collegato al sistema di scarico comune. La forza del vuoto ottenuto è determinata dal tipo di pompa a vuoto; solitamente si va da 30 a 80 kPa. Nel caso di teste di presa dotate di estrattore, quest'ultimo può essere condiviso fra diverse camere a vuoto oppure ciascuna camera può avere un eiettore separato. Nel secondo caso, la camera a vuoto ed il meccanismo di espulsione costituiscono in genere una sola unità (cfr. fig. 3-8a).

Il vantaggio delle teste a vuoto con meccanismo di espulsione, rispetto alla pompa a vuoto, è il loro costo incomparabilmente inferiore, d'altra parte, però, c'è un grande consumo di aria compressa. Gli eiettori sono quindi più adatti alle teste di presa più piccole. In fig. 3-8b è mostrato il meccanismo di controllo della testa di un eiettore a vuoto, dotato di un silenziatore sul tubo di scarico. L'unità di espulsione è dotata di un ingresso supplementare, attraverso il quale è possibile immettere aria compressa nella camera a vuoto, qualora sia necessario rilasciare velocemente l'oggetto afferrato.

³ Le teste di presa magnetiche attive con elettromagneti non devono essere confuse con le teste di presa meccaniche (pinze) controllate da elettromagneti!

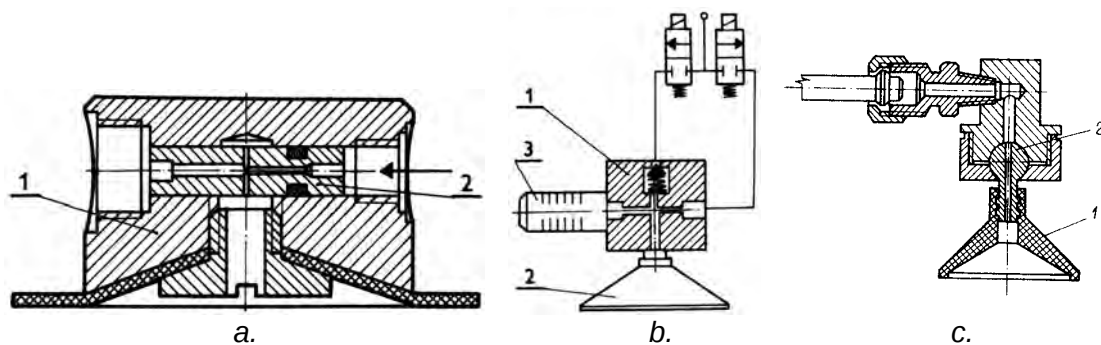


Fig. 3-8 Esempi di componenti a vuoto attivi

a. Ventosa dotata di aspiratore: 1 – testa a vuoto, 2 – eiettore

b. Esempio di controllo dell'eiettore della ventosa: 1 – testa eiettore, 2 – ventosa, 3 – silenziatore

c. Schema di componente attivo montato su giunto sferico

Un problema molto comune nell'impiego di teste a vuoto per la manipolazione di lamiera è la separazione delle varie lamiera dopo la presa. Questo problema può essere risolto anche con un movimento in direzione tangenziale durante la manipolazione; con questo tipo di movimento la lamiera più in alto si sfilà ogni volta.

La costruzione delle camere a vuoto di per sé è semplice. Nelle soluzioni più semplici la camera a vuoto è costituita da un anello di gomma, che si deforma ad imbuto quando viene stirato da due piastre metalliche. L'impianto di aspirazione è collegato ad un bullone di eiezione con un foro passante. Le camere a vuoto industriali vulcanizzate sono le migliori per quanto riguarda la tenuta. Una testa di presa a vuoto è costituita da una o più camere a vuoto opportunamente posizionate e attrezzate. In fig. 3-8c è mostrato un esempio. La parte principale è la camera a vuoto 1, che è concepita come una tazza di gomma, montata sullo snodo a sfera 2, che permette l'adattamento alla superficie dell'oggetto.

4. Componenti di presa speciali

Un tipico esempio di componenti speciali di presa sono quelli basati sulla deformazione di corpi cavi. I corpi sono fatti di un materiale elastico con profilo a sezione asimmetrica, con l'uso di rinforzi asimmetricamente distribuiti, forme asimmetriche ad onda, ecc. Dopo essere stati posti in pressione, tali componenti si piegano (dal lato della parete più sottile) in direzione della superficie oggetto da catturare, si adattano alla sua forma esterna e nella fase finale del movimento esercitano la forza di presa (cfr fig. 3-9a).

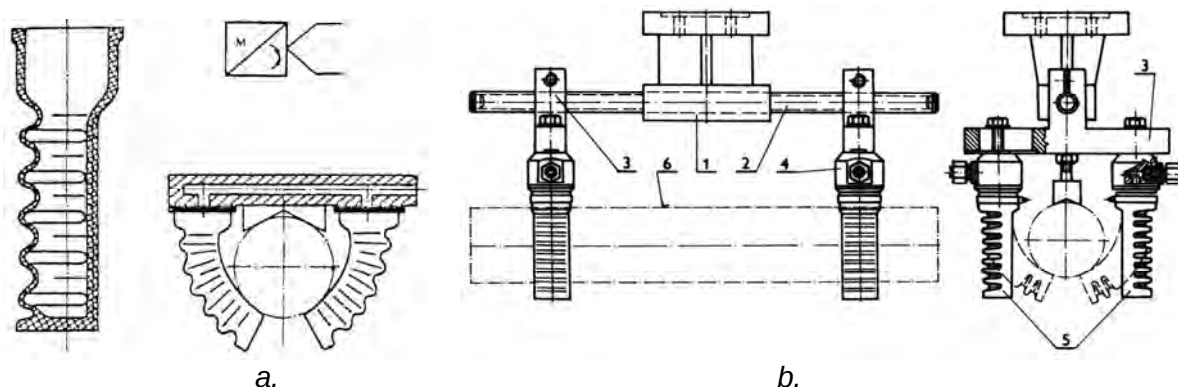


Fig. 3-9 Componente speciale di presa (a) e suo utilizzo in un gripper per parti lunghe (b)

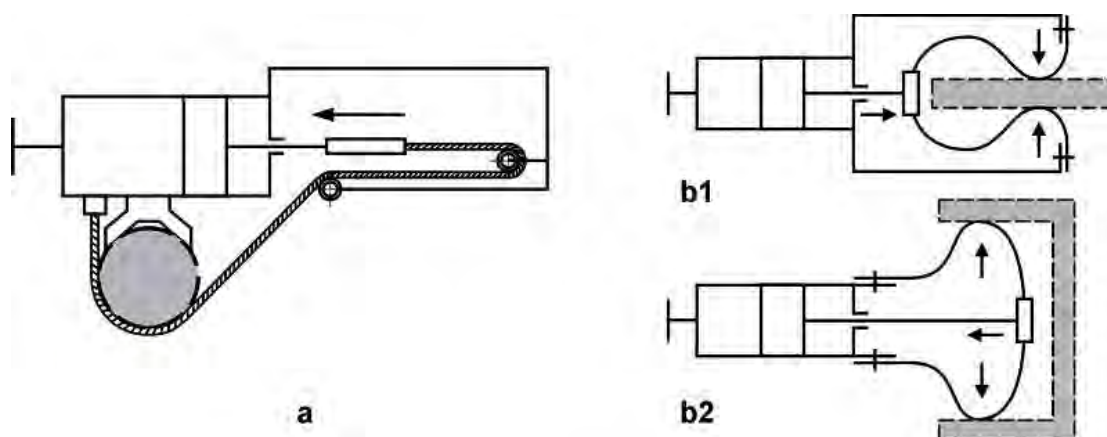


Fig. 3-10 Grippers con componenti di guida e presa integrati

Le soluzioni la cui componente d'azione si unisce con la funzione di presa sono interessanti. Dal punto di vista costruttivo, tali soluzioni sono ottimali. Le pinze possono essere concettualmente basate sull'utilizzo di un motore a fluido e cinghia (fig. 3-10a), o più precisamente un nastro elastico di acciaio (fig. 3-10 – presa esterna e b2 – presa interna). Un altro esempio di componenti speciali sono le pinze per la manipolazione di oggetti dalla forma complessa (vedi fig. 3-11). Un tale end-effector è concettualmente progettato su componenti di presa disposti trasversalmente che vengono spinti in contatto con l'oggetto manipolato attraverso un nastro, messo in tensione da molle a compressione. Una volta che tutti i componenti di presa sono in contatto con la superficie dell'oggetto, il nastro è in tensione e si esercita la forza di presa.

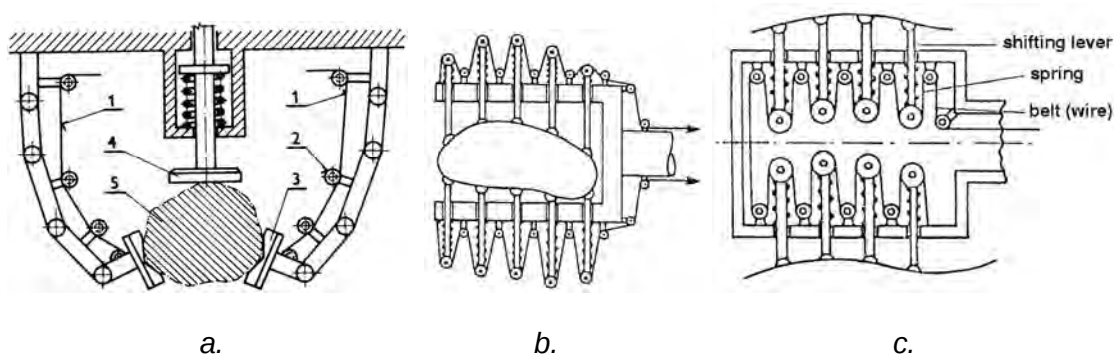


Fig. 3-11 End-effectors per la manipolazione di oggetti di forma complessa con presa esterna (a,b) e presa interna (c)

Una tipo particolare di presa è costituito dalle pinze a scatto. La pinza in fig. 3-12a ha un nottolino mobile 1, che è richiamato dall'elettromagnete 2 (la ganaschia si chiude), o 3 (la ganaschia si apre), in ogni posizione la ganaschia è assicurata da una molla di compressione. Con la pinza in fig. 3-12b, l'apertura e la chiusura delle ganasce è effettuata collegando gli elettromagneti 1 o 2, mentre la tenuta è assicurata dai magneti permanenti 3 o 4. La pinza è utilizzabile come morsa e il vantaggio è che la tenuta è realizzata con componenti passivi con un effetto illimitato nel tempo.

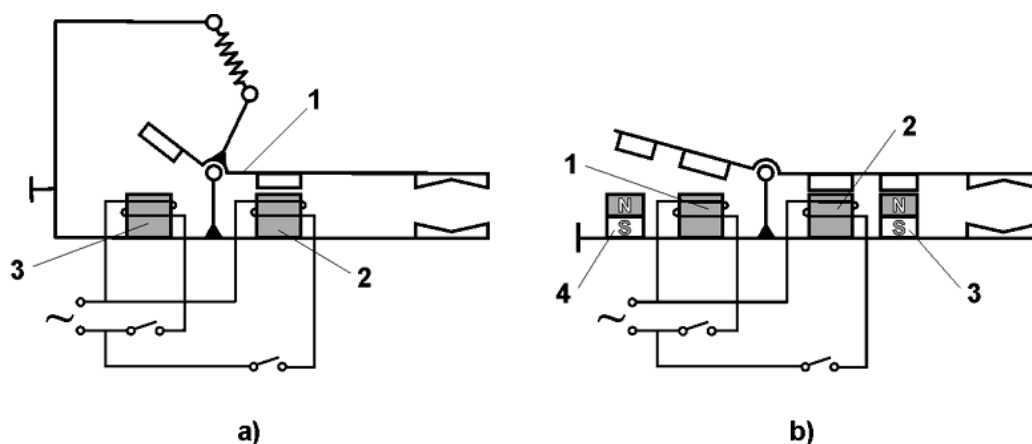


Fig. 3-12 Gripper a scatto con tenuta a molla (a) o con magneti permanenti (b)

3.3.1. Teste combinate

Le teste combinate sono costituite dall'unione di strumenti di presa (pinze) e teste tecnologiche.

Esse sono spesso utilizzate per la manipolazione automatica di stampati plastici. La pinza fig. 3-13a è costituita da quattro camere a vuoto 1 e da un dispositivo di taglio a controllo pneumatico (forbici) 2. Le ganasce 3 delle forbici 2 sono destinate al taglio del canale di iniezione della fusione.

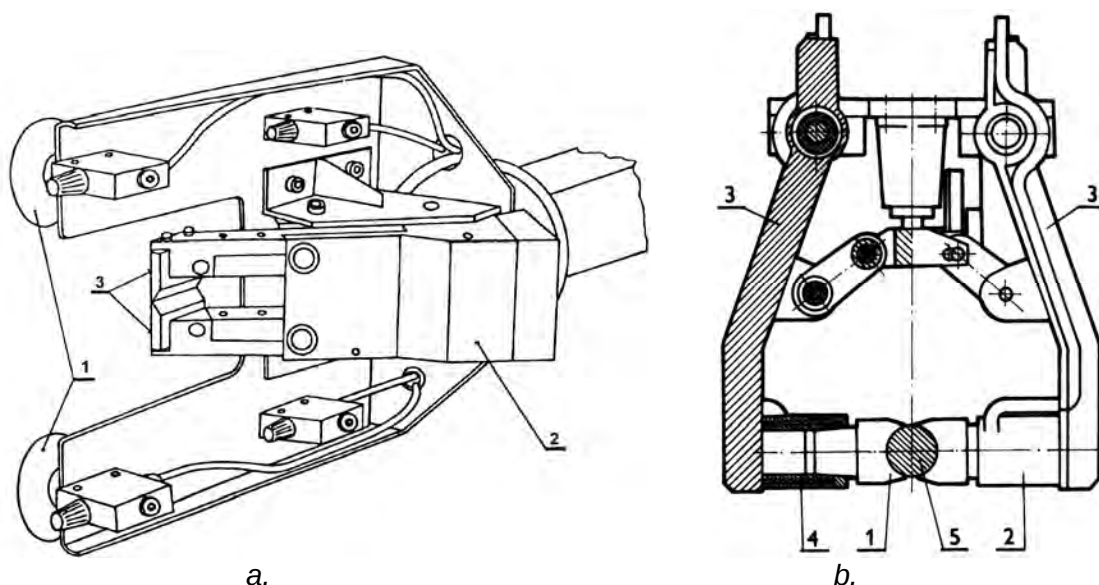


Fig. 3-13 End-effectors combinati

a. Gripper combinato per pezzi stampati a pressione

b. Gripper combinato per la manipolazione ed il riscaldamento dell'oggetto

In fig. 3-13b è mostrato un altro esempio di testa combinata finalizzata alla manipolazione ed al trattamento termico di pezzi, o più precisamente per la formatura a caldo. La testa è concettualmente concepita come una pinza (braccio di presa 3, connettore ganasce 2, componente di presa - ganasce 1) dotata allo stesso tempo di una testa tecnologica (ganasce 1), destinata al riscaldamento della superficie dell'oggetto manipolato (oggetto 5). La geometria delle ganasce (1) dipende dalla forma e dalle dimensioni dell'oggetto manipolato (5) ed è intercambiabile. La ganasce è fatta di un materiale elettricamente conduttivo, mentre la sua sezione è dimensionata in base alla corrente e alla forza di presa richieste. L'end-effector è dotato di un sistema di raffreddamento (raffreddamento 4). La sua meccanica è elettricamente e termicamente isolata.

3.3.2. Teste speciali

Le teste speciali svolgono funzioni che non possono essere annoverate nelle categorie precedenti. Sono particolarmente utilizzate per speciali applicazioni robotiche, o più precisamente per la robotica di servizio. Dotare questi end-effectors di opportuni sensori (scanner, rilevatori) è un prerequisito per sviluppare l'adattabilità dei robot e dei sistemi robotici.

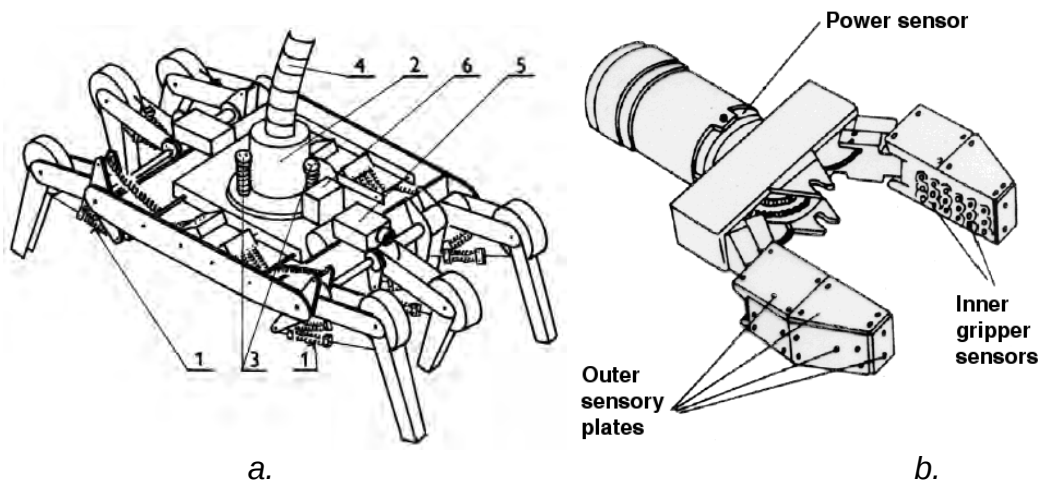


Fig. 3-14 Teste speciali

a. End-effector speciali per applicazioni sottomarine:

1 – molle in leghe a memoria di forma (SMA), 2 – collettore di aspirazione, 3 – dita raschianti, 4 – tubo di aspirazione, 5 – sensore ad ultrasuoni, 6 – telecamera

b. Gripper sensoriale del robot adattativo UNIMATE (USA)

Fra i sensori automatici il sensore tattile è sicuramente il più importante per l'adattività del robot. Gli attuali sensori tattili sono essenzialmente sofisticati rilevatori di forza o più precisamente di pressione, che rilevano i valori di forza e pressione e li convertono in impulsi di tensione. Il sistema prensile sviluppato per i robot UNIMATE è dotato di questo tipo di sensori. In fig. 3-14b è mostrato il modello di tale sistema.

3.3.3. Forze agenti sugli oggetti afferrati sotto l'azione del moto del robot

Un oggetto afferrato da un robot industriale, come in fig. 3-15, sarà sottoposto a forze esterne ed inerziali.

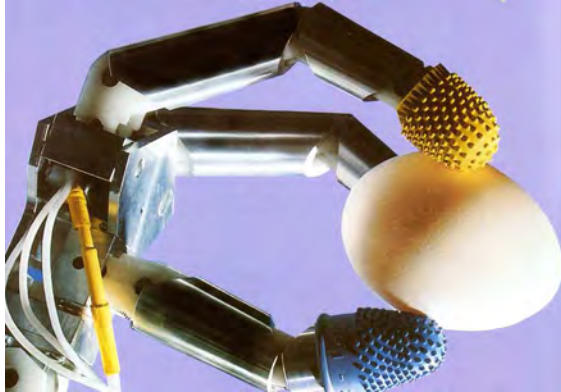


Fig. 3-15 Gripper dotato di dita

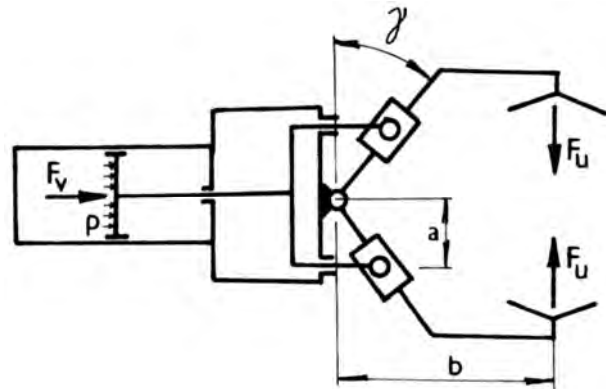


Fig. 3-16 Forze agenti su un gripper a due prese

Fra le forze esterne possiamo enumerare la forza di gravità:

$$F_g = m \cdot g \text{ [N]} \dots \dots \dots (2.6),$$

dove m [kg] è la massa dell'oggetto e $g = 9.81 \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$ è l'accelerazione gravitazionale

e le forze di attrito (eventualmente la loro somma):

$$F_t = F_n \cdot f \text{ [N]} \dots \dots \dots (2.7),$$

Dove F_n [N] è la pressione (normale) agente sulle ganasce perpendicolarmente alla superficie dell'oggetto e f [1] è il coefficiente di attrito.

Durante il moto orizzontale (rettilineo), agiscono le forze inerziali:

$$F_x (F_y) = m \cdot a_x (a_y) \text{ [N]} \dots \dots \dots (2.8),$$

dove $a_x, (a_y) \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$ sono le componenti orizzontali dell'accelerazione.

Durante il moto verticale, agiscono le forze inerziali:

$$F_z = m \cdot a_z - F_g (\text{sgn } a_z \cdot \text{sgn } v_z) \text{ [N]} \dots \dots \dots (2.9),$$

dove $a_z \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$ è la componente verticale dell'accelerazione e
 $\text{sgn } a_z = (+1)$ per l'accelerazione e (-1) per la decelerazione
 $\text{sgn } v_z = (+1)$ per il movimento verso l'alto e (-1) per il movimento verso il basso.

Durante la rotazione dell'oggetto di massa m [kg] lungo un percorso circolare di raggio r [m] alla velocità $v \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$, la variazione del vettore velocità genera la forza centripeta F_d [N]:

$$F_d = m \cdot v^2 / r \text{ [N]} \dots \dots \dots (2.10)$$

La velocità v [m.s-1] dipende dal raggio r [m], mentre la velocità angolare ω [rad.s-1] si ricava come:

$$v = \omega / r \text{ [m.s}^{-1}\text{]} \dots\dots\dots (2.11)$$

e dunque:

$$F_d = m \cdot r \cdot \omega^2 \text{ [N]} \dots\dots\dots (2.12)$$

La velocità angolare ω [rad.s-1] dipende dalla frequenza di rotazione n [s-1]:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \text{ [rad.s}^{-1}\text{]} \dots\dots\dots (2.13)$$

In un riferimento **non inerziale** in rotazione si genera la forza centrifuga A , che in un sistema di riferimento inerziale viene spesso indicata come la reazione alla forza centripeta. In questo caso l'entità della forza centrifuga è uguale alla forza centripeta F_d . La forza centrifuga è diretta dal centro di curvatura della traiettoria del corpo (il centro della circonferenza). Il risultato della forza centrifuga è l'accelerazione centrifuga a_o .

La forza centripeta F_d è bilanciata da vari tipi di ganasce, nel caso di sulla base di fig. 3-15 è pari alla somma delle forze di attrito che agiscono sull'oggetto afferrato. Le forze di attrito dipendono le forze normali alle pinze, e il loro calcolo è analogo al calcolo della resistenza delle pinze già menzionate.

Per esercitare la forza di presa necessaria il motore deve generare una forza motrice (o una coppia) in dipendenza della tipologia di trasmissione utilizzata.

Per il calcolo del diametro del motore lineare a fluido (pneumatico o idraulico) applicato alla pinza con la meccanica in fig. 3-16, è possibile partire dalla determinazione della forza motrice F_v , che è data da:

$$F_v = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \eta_v \dots\dots\dots (2.14)$$

Dove D è il diametro del motore ad alta potenza, η_v è il rendimento del motore a fluido. Al rapporto fra forza motrice F_v e forza di presa F_u si applica la seguente formula:

$$\frac{F_v}{F_u} = \frac{2b}{a} \cdot \cos^2 \gamma \dots\dots\dots (2.15)$$

E dunque il diametro richiesto al motore è dato da:

$$D = 4 \cdot \cos \gamma \cdot \sqrt{\frac{F_u \cdot b}{a \cdot \pi \cdot p \cdot \eta_v \cdot \eta_i}} \dots\dots\dots (2.16)$$

dove γ è l'angolo di trasmissione, η_i è il rendimento della trasmissione fra il pistone del motore e le ganasce.

Nel caso di grippers con teste a vuoto passive (ventose) in fig. 3-17, tali forze dipendono dalle dimensioni delle effettive superfici di contatto oggetto-ventosa e dalla forma e dalla rigidità ϵ (variabile da 0.6 – 0.8) delle ventose.

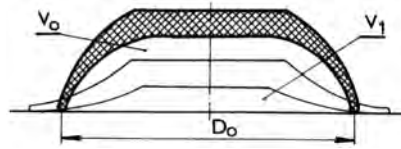


Fig. 3-17 Ventosa

La risultante della forza di presa normale scambiata attraverso il baricentro della superficie di contatto è data da:

$$F_{np} = \varepsilon \frac{\pi D_0^2}{4} \left(1 - \frac{V_1}{V_0} \right) \dots \dots \dots (2.17)$$

dove D_0 è il diametro della ventosa indeformata, mentre il rapporto fra i volumi interni V_1/V_0 in genere varia da 0.2 a 0.5.

La forza di presa normale F_{na} esercitata dal vuoto Δp dipende dalla qualità del contatto ventosa-oggetto S_e (da 0.6 a 0.7), dalla superficie racchiusa dalla ventosa in contatto (in mm^2), e dal gradiente fra pressione interna p_v (in MPa) ed esterna p_a (pressione atmosferica, in MPa); essa è data da:

$$F_{na} = k_e \cdot S_e (p_a - p_v) \dots \dots \dots (2.18)$$

Il vuoto è dato dalla differenza delle pressioni (per ventose senza anelli di compressione, per teste non regolabili con anelli di compressione esso vale circa 0.030 – 0.035 MPa):

$$\Delta p = p_a - p_v$$

La forza di presa tangenziale dipende invece dal coefficiente k_f (1.00 – 1.25), che comprende la forma della superficie di contatto oggetto-ventosa, la qualità e lo stato della superficie dell'oggetto e dal coefficiente di attrito μ_0 (0.25 – 0.60) fra il materiale della ventosa e quello dell'oggetto a diretto contatto con essa:

$$F_t = k_f \cdot \mu_0 \cdot F_n \dots \dots \dots (2.19)$$

Il numero di ventose necessarie per una presa sicura è data da:

$$n = \frac{F_u}{k_t \cdot \Delta p \cdot S} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dove k_t è il fattore di forma (per una forma circolare varia da 0.8 – 0.9).

Nel caso di grippers con teste magnetiche passive, che sono perpendicolari alle superfici di contatto, la forza di presa normale F_{np} vale:

$$F_{np} = \left(\frac{B_z}{16 \cdot 10^{-3}} \right)^2 \cdot S_z \dots \dots \dots (2.21)$$

dove B_z è il coefficiente di induzione magnetica dei dipoli, S_z è l'area della sezione dei dipoli magnetici (in m^2).

La sezione del magnete attivo (in m^2) installato fra i poli

$$S_m = k_r \cdot \frac{B_z \cdot S_z}{B_m} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dipende dal coefficiente di deviazione k_r (1.1 to 1.2) e da quello di induzione magnetica del magnete permanente B_m .

La forza di presa tangenziale può essere ricavata dalla stessa formula valida per le ventose. Il dimensionamento dei magneti passa per la determinazione del numero di dipoli e dalla forza di presa F_u necessaria a compensare gli effetti esterni dinamici e statici.

Per i grippers che utilizzano teste magnetiche attive, la forza di presa normale F_{na} vale:

$$F_{na} = 2 \cdot \frac{(I \cdot n)^2}{\mu_0 \cdot S_p} \cdot \frac{1}{(R_{m1} + R_{m2} + R_{m3})} \dots\dots\dots(2.23)$$

dove I è la corrente nella bobina di eccitazione del magnete, n è il numero di avvolgimenti di ogni bobina, μ_0 è il coefficiente di permeabilità nel vuoto, S_p è la superficie della superficie di contatto dell'elettromagnete (surface of the pole extensions), R_{m1} è la resistenza magnetica del nucleo, R_{m2} è la resistenza magnetica del traferro, R_{m3} è la resistenza magnetica del materiale ferromagnetico.

3.3.4. Sostituzione automatica degli end-effectors

Il sistema di sostituzione automatica degli end-effectors contribuisce alla flessibilità dei robot industriali. Ciò nasce dalla necessità per un robot industriale di effettuare diverse operazioni sia di manipolazione sia tecnologiche. Il vantaggio di questo sistema è la possibilità di adattarsi a un cambiamento di dimensione e forma degli oggetti manipolati o di tecnologia operativa senza interrompere il ciclo di funzionamento. Il robot, sulla base del proprio programma, aggancia gli utensili necessari e dopo aver completato l'operazione può cambiare nuovamente l'end-effector.

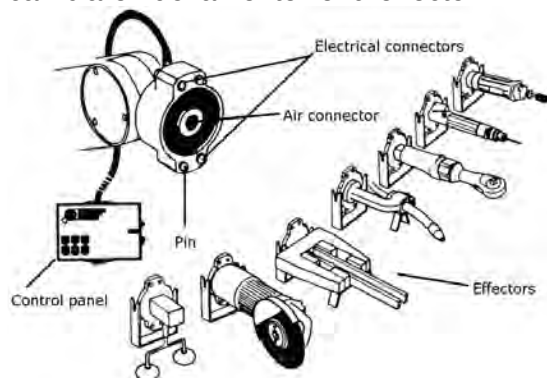


Fig. 3-18 Concetto di sostituzione automatica

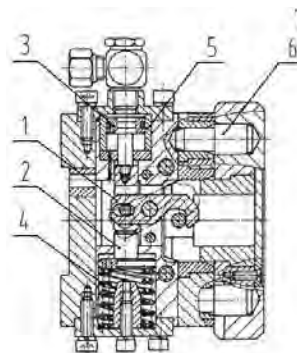


Fig. 3-19 Dettaglio del sistema di aggancio degli end-effectors

Ogni end-effector è dotato di una flangia di fissaggio, che si aggancia alla corrispondente flangia di collegamento situata all'estremità della catena cinematica del robot industriale. Le flange servono contemporaneamente a garantire la forza di connessione e di controllo per il meccanismo di presa, ma anche per le esigenze funzionali degli end-effectors, ad esempio essa può essere dotata di connettori, giunzioni per l'adduzione di un fluido in pressione (idraulico, pneumatico), per la conduzione di corrente elettrica, per la conduzione dei segnali elettrici di controllo.

In fig. 3-19 è mostrata ad esempio una flangia di collegamento sviluppata presso ÚVSSR FSI VUT a Brno (Brno University of Technology, Facoltà di Ingegneria Meccanica, Istituto di macchine di produzione, Sistemi e Robotica).

Il sistema è a controllo pneumatico. La sostituzione automatica è basata su un meccanismo di aggancio. Il gancio 1 è fissato su un perno che permette la sua rotazione. La posizione del gancio è determinata da una valvola 2 che scorre intorno ad perno cilindrico, perpendicolare all'asse della valvola scorrevole, che viene spinto nel foro del gancio. Il sistema di controllo della valvola pneumatica, che si trova in un punto diverso del robot, permette l'ingresso di aria in pressione attraverso il cilindro pneumatico 5. Il fluido in pressione agisce sul pistone pneumatico 3 e inizia il suo movimento verticale fino al punto morto. Il pistone pneumatico è fissato sulla valvola che scorre su un giunto a vite, e trasmette l'azione della forza su di esso. All'altra estremità della valvola scorrevole c'è una molla che permette il movimento. Il movimento del perno cilindrico sulla valvola scorrevole causa la rotazione del gancio attorno al perno centrale. Il gancio riprende la seconda posizione di riposo (che è contrassegnata da una linea tratto-punto in figura). A questo punto la flangia robot è pronta ad accogliere la flangia dell'end-effector. La centratura è assicurata dalla svasatura sulla parte cilindrica della flangia dell'end-effector e dalle spine di centraggio 6. Per distaccare le flange viene interrotta l'alimentazione. Il sistema pneumatico viene decompresso, l'intero meccanismo ritorna alla posizione originaria grazie alla molla 4 mentre il gancio fissa il perno di presa dell'end-effector e lo mantiene in posizione. In caso di sgancio, avviene il processo inverso. In caso di perdita di pressione, la flangia end-effector è ancora mantenuta con la stessa forza.

I sistemi per la sostituzione automatica degli end-effector rappresentano un'alternativa ai robot universali e polivalenti. Quando si progetta una linea di produzione, è necessario esaminare quale sistema sia preferibile per il compito assegnato. Il sistema di sostituzione automatica, oltre a dei vantaggi, porta anche costi di acquisto più elevati e più alto rischio di rottura.

3.4. DISPOSITIVI PERIFERICI PER IR&M

3.4.1. Introduzione, classificazione, finalità

I dispositivi periferici (PD) per gli IR&M (chiamati anche sistemi di manipolazione ausiliari o meccanismi interoperazionali) sono finalizzati a semplificare la movimentazione degli elementi oggetto della robotizzazione (ad esempio un pezzo, una fusione, un elemento saldato, una parte, ecc.) all'interno dello spazio di lavoro di robot industriali stazionari (IR) o di un manipolatore (M).

I dispositivi periferici (PD) effettuano le movimentazioni necessarie fra le singole lavorazioni all'interno della cella di lavoro robotizzata (RW), che non possono essere svolte né dal robot, né dal manipolatore. Inoltre, essi assicurano anche il flusso di pezzi necessario o il loro corretto orientamento nello spazio. In altre parole, i PD assicurano il trasporto e la conservazione degli oggetti, ne semplificano la manipolazione, ecc. I PD rendono la programmazione del sistema operativo di una RW molto meno difficile e inoltre consentono l'utilizzo di Manipolatori e Robot industriali dotati di un minor numero di gradi di libertà o di caratteristiche tecniche meno complesse.

La cooperazione di un manipolatore o un robot industriale con i dispositivi periferici velocizza il processo di manipolazione, diminuendo i tempi necessari per la manipolazione. Inoltre, essi spesso migliorano anche l'accuratezza nel posizionamento dell'oggetto. La maggiore accuratezza può essere ottenuta perché i PD consentono di:

- posizionare accuratamente l'oggetto da manipolare,
- usare PD più solidi di quanto lo siano i robot e i manipolatori industriali,
- Usare IR&M con un numero minore di coppie cinematiche (rotazionali o prismatiche).

Le soluzioni costruttive dei dispositivi periferici sono sempre legate alla particolare RTW, e possono essere classificati secondo diversi aspetti, e cioè:

1. la funzione che devono svolgere
2. le caratteristiche costruttive
3. il loro posizionamento all'interno della cella robotizzata.

I dispositivi periferici possono essere classificati in tre gruppi principali in base alla loro funzione:

- a) La periferica muove l'oggetto, cambiando la posizione del suo centro di massa, lasciando inalterato il suo orientamento nello spazio;
- b) La periferica cambia l'orientamento dell'oggetto, cioè ruotandolo intorno ad un asse passante per il centro di massa, ma l'oggetto non viene ricollocato;
- c) La periferica cambia sia l'orientamento sia la posizione del centro di massa dell'oggetto.

In base alle loro caratteristiche costruttive i dispositivi periferici possono essere classificati in:

- nastri trasportatori
- piani rotanti e composti
- dispositivi di sollevamento e trasporto
- trasportatori a cestello
- pallets
- carrelli di trasporto.

I dispositivi periferici sono chiaramente una parte essenziale nella progettazione e nella realizzazione di una cella di lavoro robotizzata. La loro costruzione e produzione dipende da particolari necessità di manipolazione, verniciatura, ecc. Perciò spesso il PD è una macchina destinata ad una specifica applicazione (come accade con i diversi end-effectors).

3.4.2. Classificazione dei PD rispetto alla loro funzione

In questo caso, i PD sono usati per cambiare la posizione del centro di massa di un oggetto nello spazio. L'oggetto viene ricollocato cambiando la posizione del suo centro di massa, mentre l'orientamento del pezzo resta costante. Possiamo avere i seguenti PD (elencati in base alla direzione nella quale viene spostato il centro di massa):

- Il centro di massa si muove lungo una linea
- Il centro di massa si muove lungo una circonferenza
- Il centro di massa si muove in un piano
- Il centro di massa si muove nello spazio

Esempio di PD usato per muovere il centro di massa dell'oggetto lungo una retta – questo tipo di PD serve a permettere lo spostamento intervallato di oggetti lungo una linea – come mostrato in fig. 1, senza modificare l'orientamento dell'oggetto. Questo è uno dei gruppi più importanti.

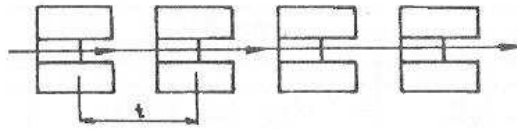


Fig. 3-20 Movimento di oggetti lungo una linea, mentre l'orientamento resta costante (movimento ad intervalli t)

3.4.3. Classificazione dei PD rispetto alle loro caratteristiche costruttive

Le soluzioni costruttive dei dispositivi periferici dipendono sempre dal tipo di macchina di produzione, manipolatore o robot industriale, ma soprattutto con la postazione di lavoro alla quale sono legati – ma anche con l'oggetto della robotizzazione (la sua forma, dimensione, peso, composizione, ecc.). Nelle pagine seguenti verranno mostrate la struttura e l'utilizzo di diversi PD.

3.4.3.1. Trasportatori

I trasportatori sono elementi fondamentali per il trasporto di componenti e pezzi (oggetti di manipolazione) e possono essere di varie forme e tipologie. Essi possono trasportare semilavorati, parti finite, strumenti, attrezzi di produzione, assiemi o anche materiale di scarto. I più utilizzati sono:

- Nastri trasportatori
- Trasportatori a catena
- Trasportatori a sospensione
- Trasportatori a vibrazione
- Trasportatori in produzioni automatiche e linee di assemblaggio
- Rulli trasportatori.



Fig. 3-21 Esempio di nastro trasportatore che fornisce componenti ad un robot manipolatore

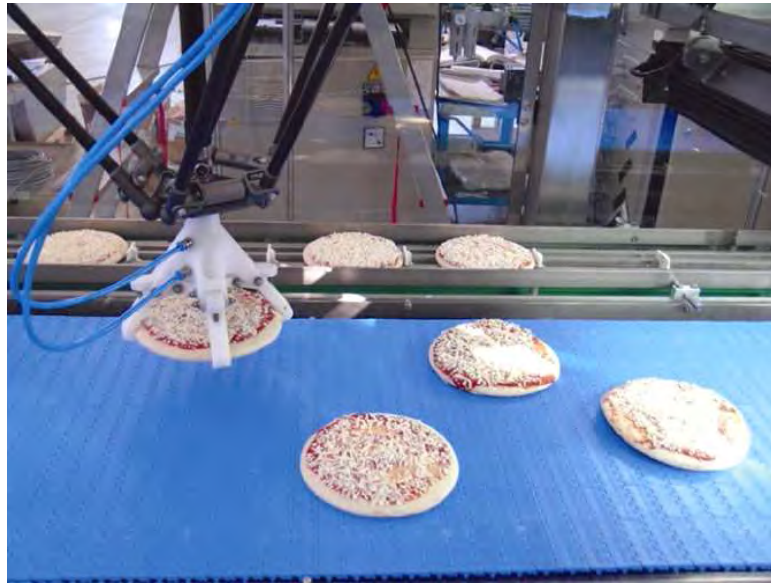


Fig. 3-22 Esempio di nastro trasportatore in uso con un manipolatore di pizze a giunti plastici (industria alimentare)

Oltre ai nastri trasportatori classici, attualmente se ne utilizzano nuovi tipi, come nastri modulari adatti alla movimentazione di prodotti leggeri in diversi ambiti industriali. Il suo grande vantaggio sta nella flessibilità nel gestire le linee secondo differenti percorsi, nella facile manutenzione e nei bassi costi – cfr. fig. in basso.



Fig. 3-23 Linea di produzione per occhiali – trasportatori modulari



Fig. 3-24 Trasportatore a catena – telaio in lega di alluminio, curve ad inserto, forze elevate, materiali della catena: plastica o acciaio



Fig. 3-25 Trasportatore a catena con guide laterali regolabili



Fig. 3-26 Trasportatore a catena, guide in plastica



Fig. 3-27 Esempio di trasportatori a sospensione: in entrambi i casi la linea può trasportare pesi superiori ad 80 kg.

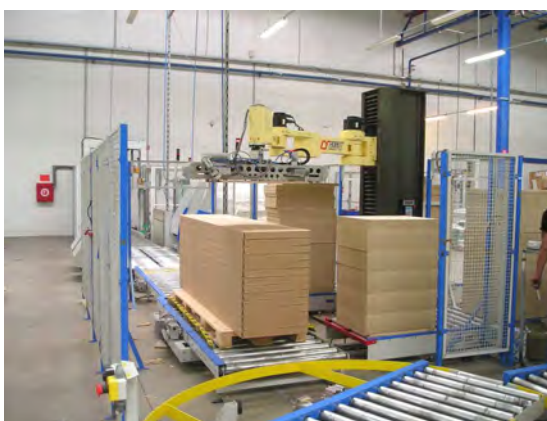


Fig. 3-28 Esempio di rulli trasportatori in una RW – manipolazione e impilamento di piani di legno



Fig. 3-29 Rulli trasportatori in esercizio in una RW – manipolazione ed impilamento di scatole di cartone



Fig. 3-30 Rulli trasportatori interoperazionali durante la produzione di dischi in lega leggera per automobili



Fig. 3-31 Rulli trasportatori in una RW con manipolatore a portale

3.4.3.2. Posizionatori e accessori di saldatura

La figura seguente illustra una RW per saldature che utilizza una speciale tavola che serve a posizionare correttamente il pezzo da saldare.

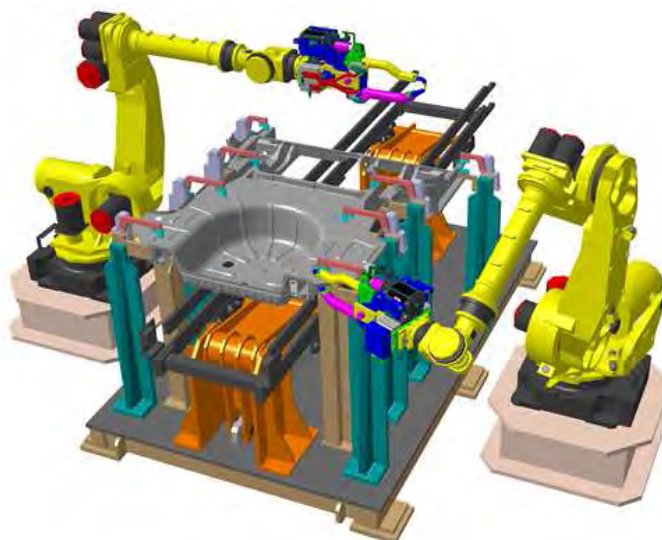


Fig. 3-32 Sistema di posizionamento come dispositivo periferico per saldature. Due IR tipo RRR eseguono la saldatura a punti, mentre il posizionatore fissa le parti da saldare e compie semplici movimenti sulla base di quelli di robot industriali.

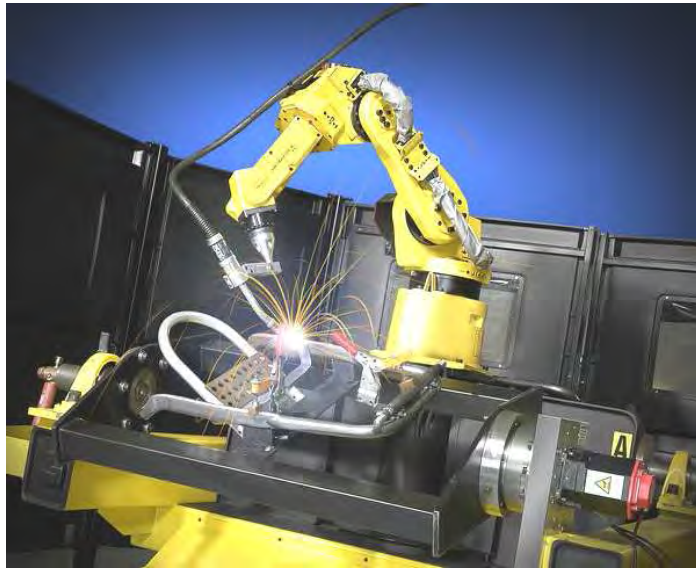


Fig. 3-33 Dispositivo periferico per saldatura ad arco – il posizionatore tiene fermi i pezzi da saldare e compie semplici movimenti in base al braccio robotico dotato di testa tecnologica

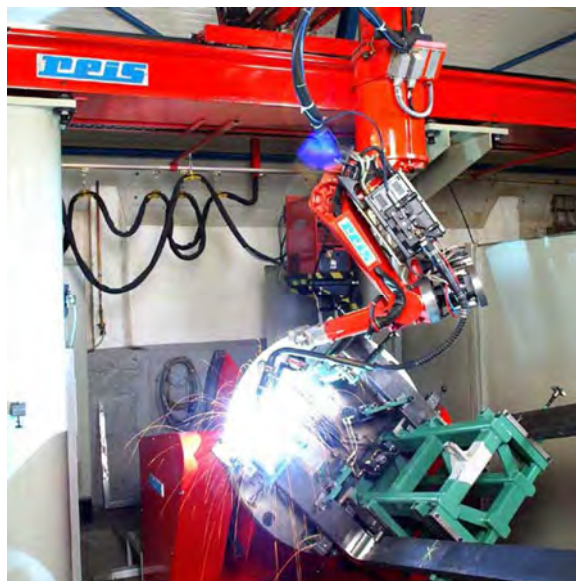


Fig. 3-34 Produzione automatizzata di forche per carrelli elevatori con moduli rotanti a scomparsa liberamente programmabili (come una periferica di RW) ed un robot agganciato al portale.

3.4.4. Classificazione dei PD in base al loro ruolo nella cella robotizzata

Come accennato nell'introduzione, questi dispositivi sono spesso sviluppati in studi di progettazione indipendenti, successivamente essi sono prodotti per le particolari esigenze della RW o del cliente. In pratica, la soluzione adottata per risolvere un particolare problema di progettazione di un PD dipende dal costruttore e dal progettista. Sulla base dell'esperienza, è possibile affermare che solo raramente lo stesso tipo di periferica viene reimpiegato in luoghi differenti (5% - 10% dei casi). Nei casi rimanenti, le periferiche sono costruite appositamente o comunque fortemente modificate, fino ad avere il carattere di un nuovo dispositivo (mono-scopo).



Fig. 3-35 Interconnessione di celle di lavoro robotizzate per mezzo di nastri trasportatori. Descrizione del layout interno della postazione di lavoro tecnologica robotizzata (RTW) in figura: Ci sono tre tipi di IR - strutture a catena cinematica seriale di tipo RRR e SCARA e strutture parallele di tipo TRIPOD. Compito del robot è di effettuare la manipolazione e l'assemblaggio di componenti piccoli e leggeri, ai quali ben si adatta questo tipo di PD. I trasportatori connettono le singole stazioni di lavoro con la postazione di assemblaggio.

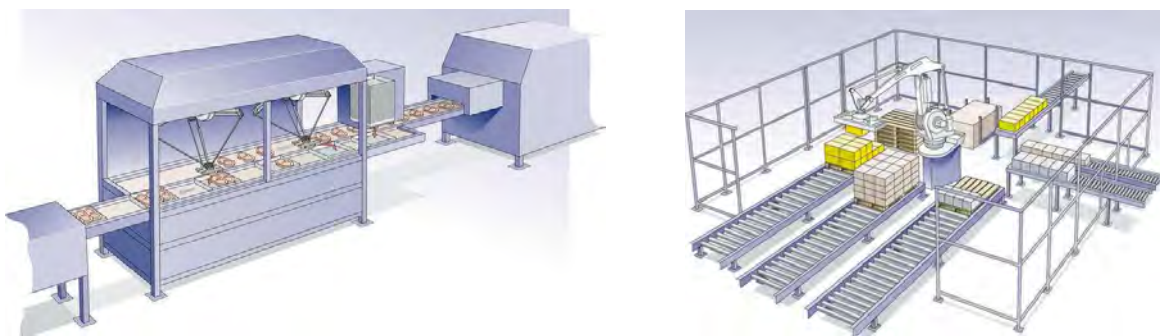


Fig. 3-36 Trasportatore continuo di ingresso-uscita in postazioni di lavoro robotizzate. Descrizione del layout interno della postazione di lavoro tecnologica robotizzata (RTW) in figura: i robot di tipo TRIPOD sta eseguendo la manipolazione in atmosfera controllata (foto a sinistra) e l'impilamento di oggetti su un pallet EURO (foto a destra).

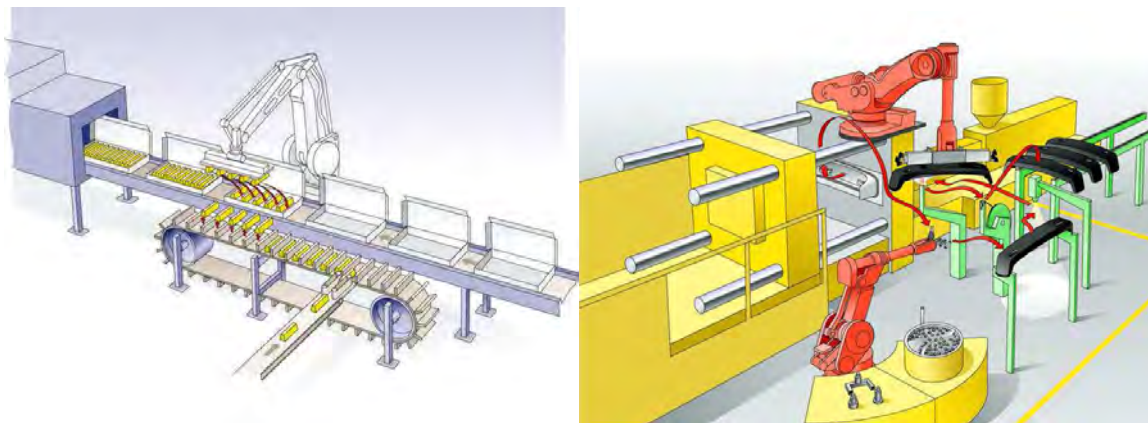


Fig. 3-37 Trasportatori di ingresso e uscita per l'impilamento di pezzi e l'estrazione di stampati di plastica. Descrizione del layout interno delle postazioni di lavoro tecnologiche robotizzate (RTW) in figura: la PD sta eseguendo la manipolazione di componenti rimuovendole dall'alimentatore, che svolge anche la funzione di nastro trasportatore, ed il loro impilamento in scatole trasportate da un nastro trasportatore (foto a sinistra), mentre il IR sta eseguendo lo scarico dei pezzi stampati (paraurti) e la loro manipolazione in uscita della linea di stampaggio a iniezione (foto a destra).

I

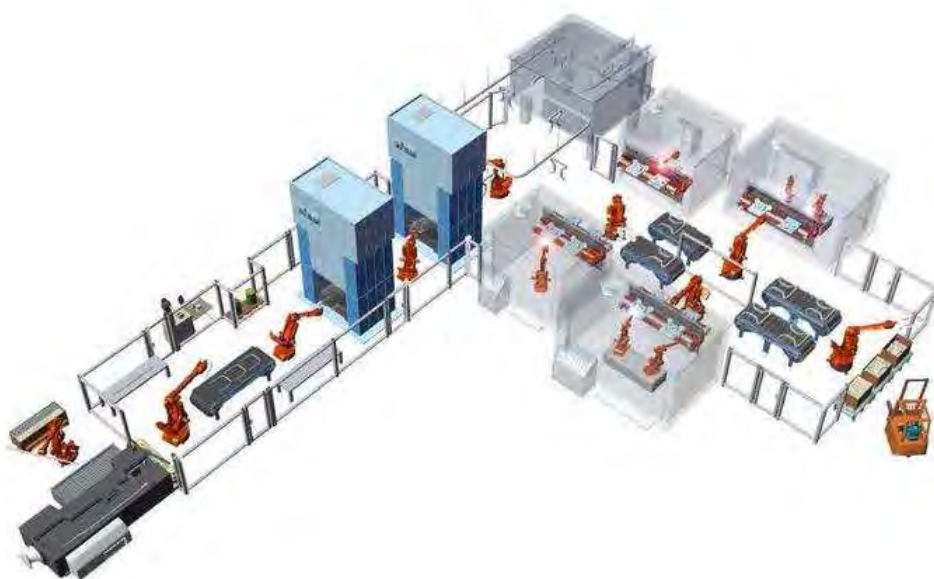


Fig. 3-38 Illustrazione di un ambiente di lavoro robotizzato più complesso con i dispositivi periferici per la lavorazione tecnologica di metalli (tavole di trasporto, alimentatori in ingresso e uscita). Descrizione del layout interno della postazione di lavoro tecnologica robotizzata (RTW) in figura: PR serve alla manipolazione operativa e interoperativa di semilavorati e prodotti finiti provenienti dalla linea di stampaggio in un industria automobilistica.

4. CELLE DI LAVORO ROBOTIZZATE

Le celle robotizzate sono sistemi complessi che inglobano un' ampia gamma di elementi di differente tipologia. Per ottenere un funzionamento ottimale dell'intera cella è necessario che tutti gli elementi che la compongono cooperino in maniera corretta. Ad esempio, nel caso della pallettizzazione, il moto del robot deve essere opportunamente sincronizzato con la velocità del dispositivo di alimentazione del materiale (e.g. nastro trasportatore). Oggigiorno sono numerose le attività industriali che vengono automatizzate con successo ma, naturalmente, vi sono settori in cui l'impiego dell'automazione è più ricorrente e per i quali la progettazione di una cella robotizzata si potrebbe svolgere secondo criteri standard poichè le problematiche generali da affrontare sono ben note. Ciononostante è sempre raccomandabile analizzare ogni problema individualmente, cercando di comprendere i fattori che hanno maggiore influenza sul funzionamento della cella e trovare la soluzione adeguata. I fattori che influenzano l'utilizzo di postazioni robotizzate possono essere divisi in tre categorie principali, che sono interconnesse e si influenzano mutuamente. La prima categoria fa riferimento alla funzione finale della postazione in cui il robot industriale deve essere impiegato. Bisogna infatti considerare il tipo di robot industriale che meglio si adatta alla situazione specifica, le periferiche da utilizzare e la fattibilità dell'implementazione. La seconda categoria riguarda i fattori ambientali quali temperatura, consumo di energia, necessità di mantenere la pulizia in certi ambienti (e.g. industria alimentare), grado di variabilità strutturale dell'ambiente in cui si opera. Ultimo aspetto, ma non meno importante, è il costo totale della postazione rispetto, anche, alle possibilità economiche del cliente che dovrà acquistarla.

Pertanto l'attività di progettazione di una cella robotizzata può essere affrontata e risolta in diversi modi pensando a diverse soluzioni. Per esempio, il costo iniziale di una postazione completamente automatizzata è sicuramente maggiore del costo di una postazione in cui i robot lavorano con l'ausilio di un operatore, secondo una modalità semi-automatica. Tuttavia, l'elevato grado di affidabilità con cui una postazione completamente automatizzata può smaltire elevati volumi di produzione potrebbero renderne conveniente l'acquisto.

Di conseguenza, come esposto precedentemente, è necessario affrontare la progettazione di ciascuna postazione robotizzata in maniera individuale cercando soluzioni specifiche, anche perchè il continuo sviluppo tecnologico, unitamente alla continua riduzione del costo delle apparecchiature che integrano la postazione robotizzata, apre la strada a nuove soluzioni progettuali.

4.1. Componenti fondamentali di una cella robotizzata.

L'elemento principale di una cella robotizzata è, ovviamente, il robot industriale che è dotato di una unità di governo e di un *teach pendant* (interfaccia di controllo manuale), utilizzati per muovere il robot e in generale per programmarne il moto (per un approfondimento riguardo alla programmazione del moto si veda il capitolo 5).

L'unità di governo integra, oltre al sistema di controllo primario e ai convertitori di frequenza per gli attuatori dei singoli giunti, ingressi e uscite digitali per la connessione di periferiche che connettono il robot con l'ambiente circostante. Queste periferiche possono essere, ad esempio, schede di espansione per la connessione di diverse tipologie di bus industriali (Profibus, DeviceNet etc.) oppure schede di espansione per incrementare il numero di ingressi e uscite digitali disponibili.

E' possibile farsi un'idea dei componenti fondamentali di un robot industriale osservando la fig. 4-1. In fig. 4-2 è mostrata la struttura dei sistemi di controllo di un robot KUKA.

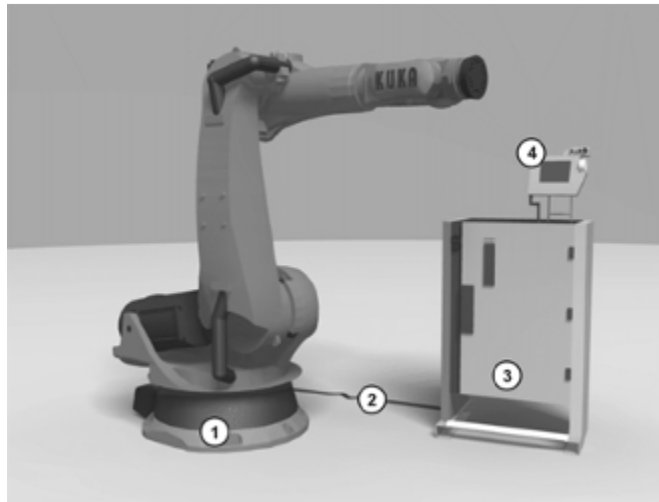


Fig. 4-1 Sistema robotico di base: robot (1), cavi di connessione (2), unità di governo (3), teach pendant (4); fonte - KUKA Industrial Robots

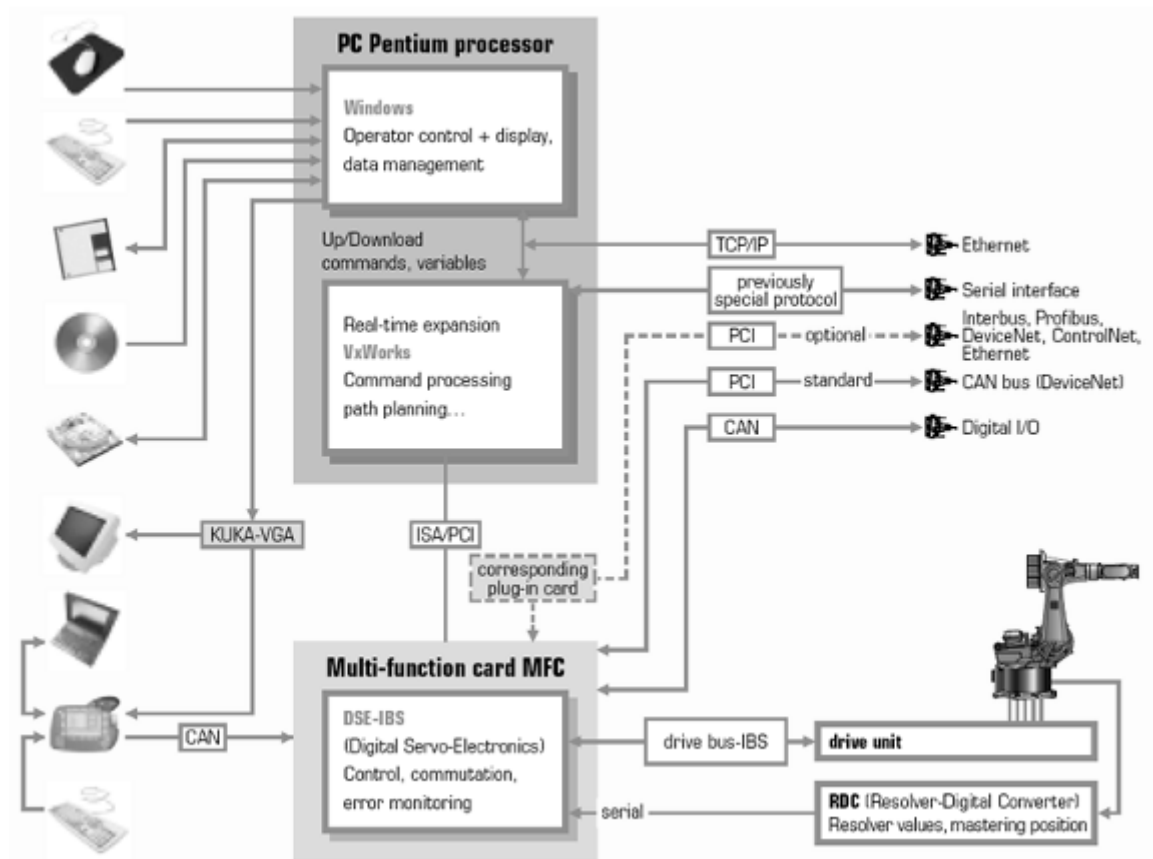


Fig. 4-2 Schema del sistema di controllo di un robot KUKA; fonte - KUKA Industrial Robots

Un ulteriore elemento indispensabile è l'organo terminale (end-effector), collocato all'estremità libera del manipolatore, che funge da utensile per le lavorazioni da eseguire (manipolazione, saldatura, e così via).

Tale organo terminale può essere una pinza, un cannello da saldatura, una pistola per incollaggio, una mola, o anche una fresa. Vi è una grande varietà di organi terminali disponibili e di nuovi tipi ne vengono continuamente prodotti; per una trattazione più dettagliata si veda il capitolo 3.

Il principale vantaggio legato all'utilizzo delle celle robotizzate è senz'altro la possibilità di eseguire lavorazioni in serie, anche su elevati volumi di produzione, con un elevato grado di affidabilità.

Di conseguenza, il trasposto di materiale dovrebbe essere quanto più regolare possibile. Questo è assicurato da diversi tipi di sistemi di alimentazione (e.g. nastri trasportatori).

Questo argomento è affrontato nella sezione 3.4 in maniera più dettagliata. Ci sono postazioni, comunque, in cui il volume di materiale, su cui il robot deve operare, non è particolarmente elevato e il singolo prodotto o semilavorato è fornito al robot da un operatore.

Queste celle in genere sono attrezzate con piattaforme girevoli o aree di consegna del materiale messe in sicurezza mediante l'utilizzo di sensori di contatto (che verificano la chiusura/apertura della porta di accesso alla cella) così da arrestare il funzionamento del robot se l'operatore deve accedere all'interno della postazione.

Il robot industriale, nella sua configurazione base, non è corredato di sensori per il monitoraggio dell'ambiente circostante (sensori esterocezionali), eccetto i sensori per il controllo degli attuatori (sensori propriocettivi). Al fine di rendere la postazione in grado di operare con sufficiente affidabilità in maniera automatica è necessario equipaggiare il robot con sensori appropriati e ben noti nell'automazione industriale (ad esempio luci di sicurezza allarmate, sensori induttivi, sensori di contatto). Esempi di questi sensori sono riportati in fig. 4-3.

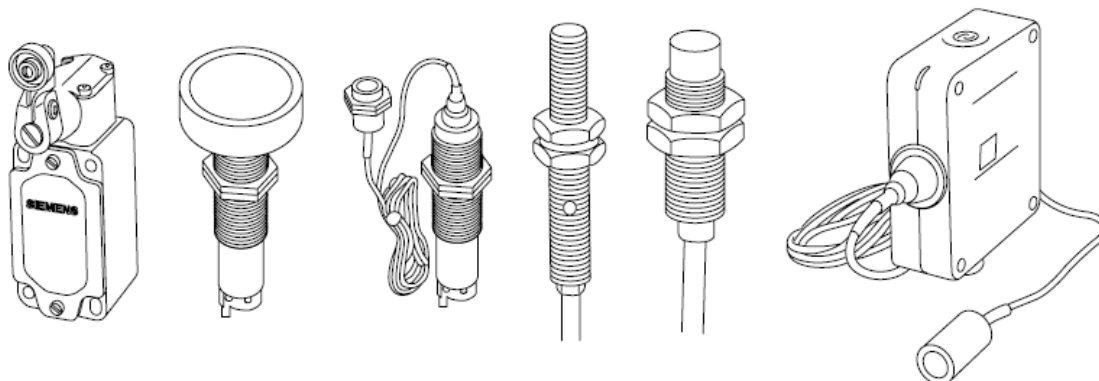


Fig. 4-3 Alcune tipologie di sensori utilizzati nell'automazione industriale; fonte – Siemens

Come indicato precedentemente, è necessario garantire all'interno dell'intera postazione che non si verifichino collisioni accidentali tra robot e operatore; per questo motivo la cella robotizzata è delimitata da una recinzione che evita l'accesso all'operatore mentre il robot è in funzione. Se l'operatore deve recarsi in prossimità del robot (ad esempio per la programmazione del moto) l'apertura della porta sensorizzata causa il blocco automatico delle attività del robot. Questo argomento è trattato in maniera dettagliata nel capitolo 6.

4.2. Controllo delle celle robotizzate

Ci sono diversi metodi per controllare una cella robotizzata in relazione alla complessità del compito che il robot, o la linea di robot, deve eseguire e anche in relazione alle future possibilità di espansione.

Il modo più semplice è controllare il singolo robot della cella collegandovi i sensori necessari e gli elementi di controllo della cella stessa. Questo metodo si presta bene per il controllo di

compiti relativamente semplici, quali ad esempio la pallettizzazione, depallettizzazione, etc. Questa tecnologia presenta un costo iniziale relativamente basso e una discreta flessibilità; tuttavia, nell'ottica di espansioni future della postazione, ci si potrebbe imbattere in forti limitazioni dovute soprattutto al numero limitato di ingressi/uscite di cui è dotato il manipolatore. Un esempio di questa tipologia di controllo è mostrata in fig. 4-4.

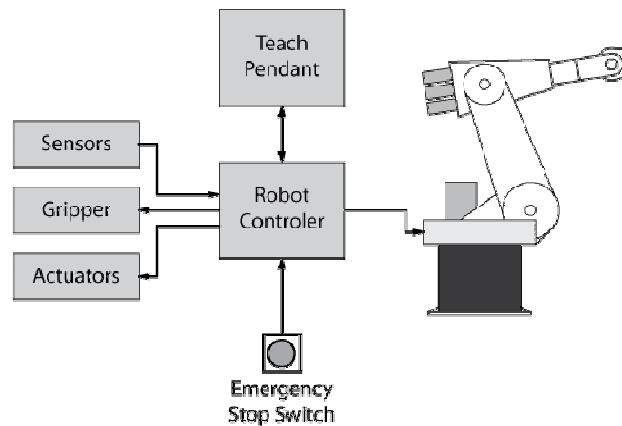


Fig. 4-4 Controllo diretto di un robot industriale.

Se si richiede alla postazione una maggiore flessibilità nella programmazione della lavorazione e/o la possibilità di controllare i robot a distanza, allora è possibile controllare la cella in modalità remota collegandola tramite una rete Ethernet a un terminale PC utilizzando un server OPC.

In questo modo è possibile, ad esempio, apportare modifiche alla produzione. Questa tecnica è nota come controllo CIM (Computer Integrated Manufacturing) e presenta già un notevole grado di flessibilità; tuttavia, all'atto della sua implementazione, è necessario registrare la massima capacità del sistema limitando, di conseguenza, le operazioni possibili. Una valutazione dei costi deve tener conto, quindi, di questa necessità.

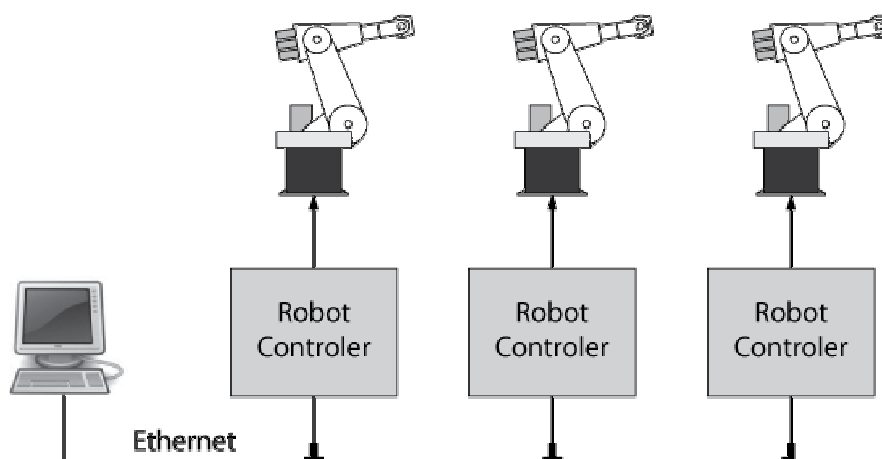
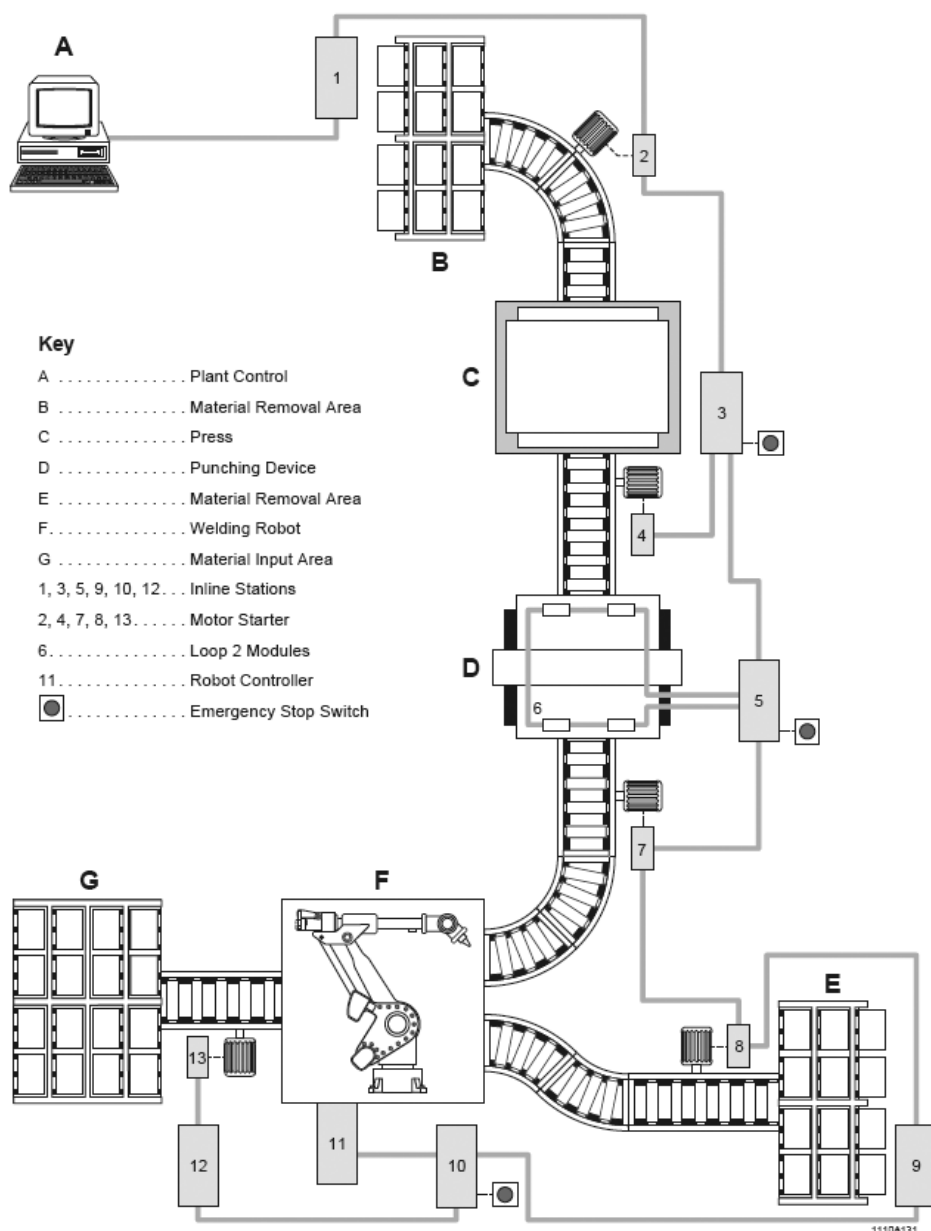


Fig. 4-5 Controllo via ethernet di una linea robotizzata.



*Fig. 4-6 Esempio di controllo tramite PLC interconnessi utilizzando un DeviceNet bus.
fonte – Phoenix Contact Inc.*

Un'altra possibilità è aumentare il numero di ingressi e uscite mediante il collegamento di un PLC esterno, utilizzando vari tipi di bus industriali DeviceNet, Profibus ecc). In questo modo è possibile collegare diversi robot e/o altri macchinari ad un'unica postazione e controllarli in maniera centralizzata per mezzo di un unico PLC (e.g. Siemen Simatic) in tempo reale. Questo è il metodo utilizzato più di frequente nella pratica.

4.3. Tipologie di celle robotizzate.

4.3.1. Saldatura

Le celle robotizzate impiegate per la saldatura possono essere divise in due tipologie a seconda della tecnologia utilizzata. Ciascuna di esse richiede l'utilizzo di periferiche dedicate. Una postazione per la saldatura ad arco è equipaggiata, oltre che con i componenti fondamentali quali generatore, cannello per saldatura e carrello trainafile, con dei componenti aggiuntivi per incrementare l'automatizzazione delle operazioni. Per motivi di sicurezza si utilizza un sensore di collisione posizionato sulla flangia del robot che cambia il valore logico del segnale di uscita in caso di contatto accidentale del cannello con un ostacolo. Questa variazione dell'ingresso logico dovuta alla collisione è interpretata dal sistema di controllo come condizione di errore e causa l'arresto immediato di tutti gli attuatori. Di conseguenza, in postazioni equipaggiate con sensori di collisione, non si verificano danni ai componenti più costosi, quale è, ad esempio, il cannello per saldatura.

Se il robot saldasse con continuità, si verificherebbe un progressivo intasamento del cannello, con conseguente degrado della qualità della saldatura. Per questo motivo le celle per la saldatura sono equipaggiate con postazioni per la pulizia del cannello e dell'unità di taglio del filo di saldatura. In alcuni casi le celle sono anche dotate di una unità di calibrazione automatica per l'organo terminale. Dopo un certo numero di saldature il robot porta l'organo terminale all'unità che esegue la manutenzione necessaria. A questo punto il robot è di nuovo pronto per riprendere a saldare. Questi componenti sono mostrati in fig. 4-7.

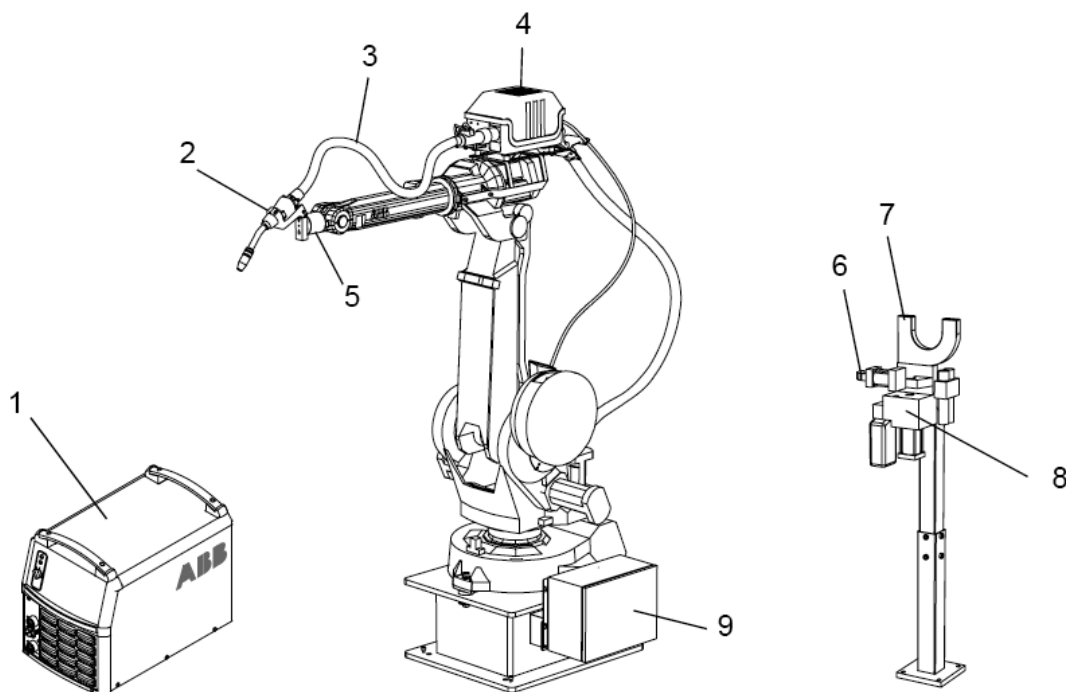


Fig. 4-7 Attrezzatura per saldatura ad arco: generatore (1), cannello (2), fascio di tubi (3), carrello trainafile (4), sensore di collisione (5), unità di pulizia del cannello, unità di taglio del filo di saldatura e unità di calibrazione della TCP (6-8), unità di controllo delle operazioni (9); fonte – ABB

Spesso nelle celle per la saldatura ad arco si utilizzano dei posizionatori per movimentazione dei componenti da saldare il cui moto è legato a quello del robot. In questo caso il robot esegue la saldatura in maniera continua, mentre i pezzi saldati vincolati al posizionatore si muovono simultaneamente. Recentemente diversi costruttori di robot hanno cominciato ad

offrire sul mercato celle robotizzate per l'esecuzione di saldature semplici corredate di tutti i componenti, compresi posizionatori e sensori di sicurezza. Una cella robotizzata per un solo robot con un posizionatore mono-assiale, prodotta da ABB, è mostrata in fig. 4-8

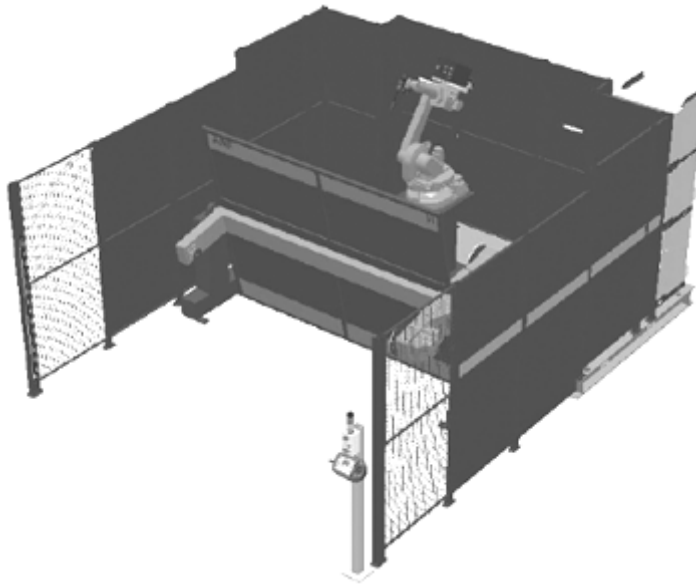


Fig. 4-8 Cella robotizzata integrata per la saldatura ad arco; fonte – ABB

Per quanto riguarda l'attrezzatura necessaria all'esecuzione della saldatura per punti, la situazione è piuttosto differente. In primo luogo l'utensile è completamente diverso. Le pinze per la saldatura a punti (fig. 4-9) sono molto più larghe e pesanti di quelle utilizzate per la saldatura ad arco. Pertanto si utilizzano in genere robot con una maggiore portata. Una questione di fondamentale importanza è il raffreddamento della pinza che viene realizzato mediante un circuito di raffreddamento ad acqua.

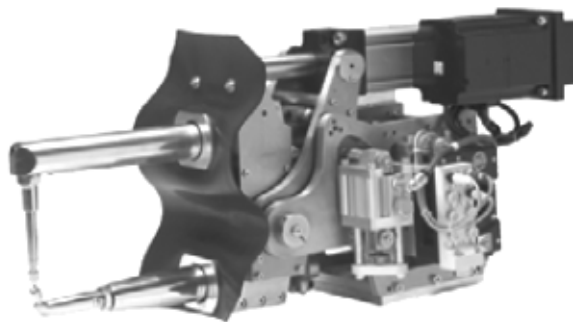


Fig. 4-9 Utensile (o pinza) per saldatura per punti;

Un robot destinato alla saldatura per punti deve essere dotato di un sistema di controllo, generalmente collocato alla base della macchina, che assicuri il regolare circolo del liquido refrigerante e il conseguente raffreddamento della pinza. In fig. 4-10 è riportata una immagine dettagliata.

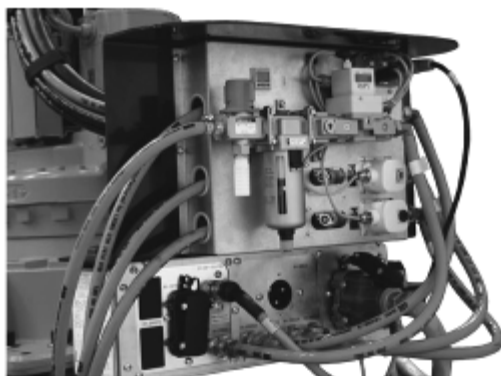


Fig. 4-10 Unità di controllo di un robot ABB per la saldatura per punti; fonte - ABB

Da quanto detto si potrebbe pensare che l'utilizzo di questa tecnologia di saldatura sia limitato ad un settore di nicchia, invece è molto utilizzato; si pensi, ad esempio, all'industria automobilistica. In generale si può dire che circa il 70-80% delle operazioni di saldatura è realizzato utilizzando la tecnologia della saldatura per punti. La configurazione di base è rappresentata in fig. 4-11.

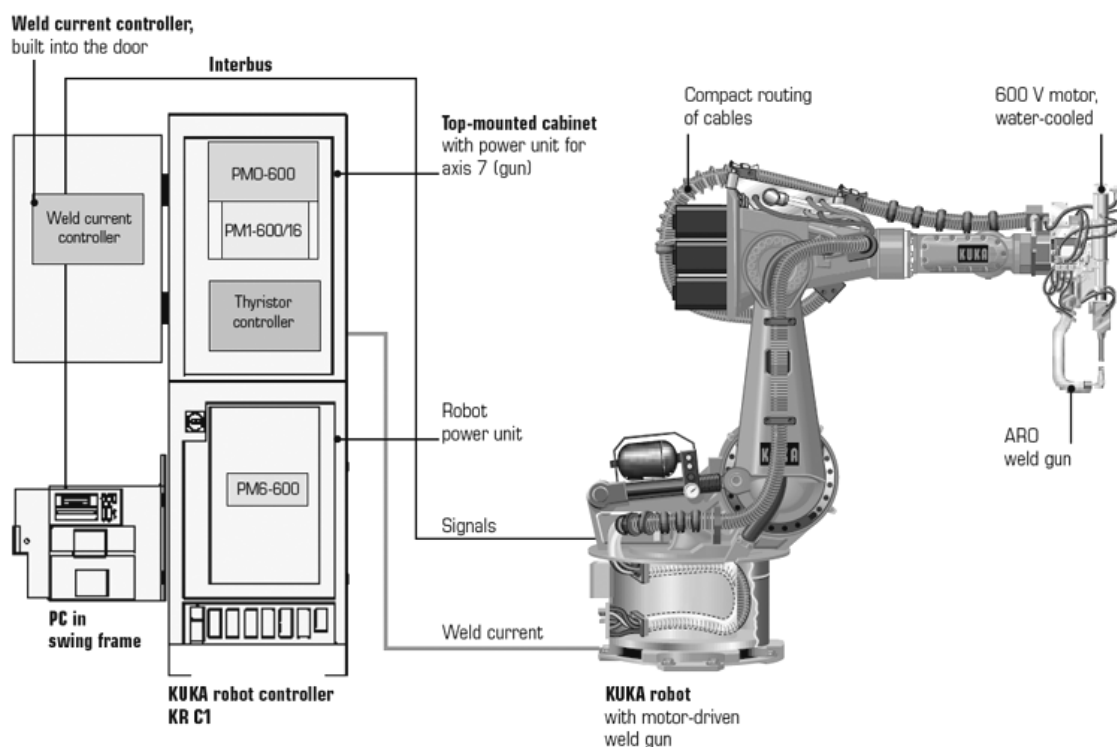


Fig. 4-11 Configurazione di base relativa al robot per saldatura per punti KUKA; fonte - KUKA Industrial Robots

4.3.2. Manipolazione

Il robot industriale è usato di frequente anche allo scopo di manipolare pezzi durante le lavorazioni, in particolare per il posizionamento di semilavorati nelle macchine utensili. Una cella robotica integrata utilizzata per questo tipo di operazione è mostrata in fig. 4-12. Il

trasporto del semilavorato è realizzato manualmente mediante sistemi di trasporto. Queste celle sono in genere equipaggiate anche con sistemi di visione per il riconoscimento automatico della posizione dei pezzi e di sistemi per il cambio automatico dell'organo terminale. Naturalmente, per questo tipo di operazioni, si richiede alla cella la maggiore adattabilità possibile al prodotto da manipolare.

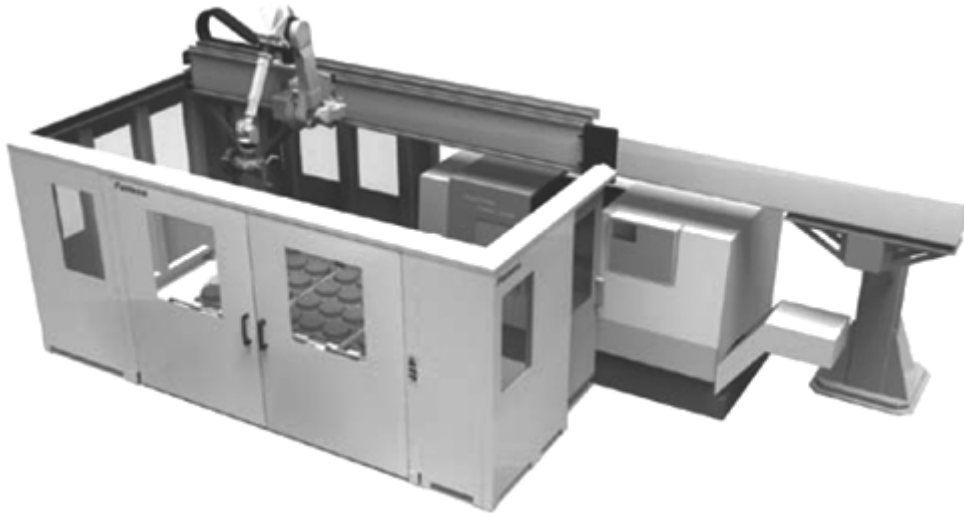


Fig. 4-12 Cella robotizzata integrata per il posizionamento del semilavorato nella macchina utensile; fonte – Fastems

Un altro esempio di operazione di manipolazione è la pallettizzazione e depallettizzazione all'inizio ed alla fine dei processi produttivi. Con task così semplici non è necessario modificare l'orientamento dei componenti da manipolare e, di conseguenza, dell'organo terminale, secondo tutti gli assi. Per questo motivo si utilizzano robot con un ridotto numero di assi (si veda fig. 4-13). Il vantaggio immediato è una cinematica inversa semplice da implementare nel sistema di controllo del robot ed una maggiore capacità di carico dovuta all'utilizzo della struttura a parallelogramma. Il robot è in grado di eseguire traslazioni lungo i tutti e tre gli assi cartesiani, mentre, è in grado di eseguire rotazioni solo attorno all'asse perpendicolare alla sua base. In genere questo è l'asse Z della terna di riferimento base (per una descrizione più dettagliata in merito alla scelta delle terne di riferimento si veda il capitolo 5).

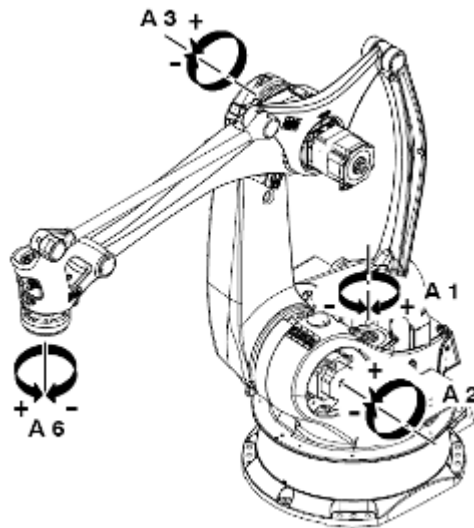


Fig. 4-13 Robot per la pallettizzazione con un ridotto numero di assi; fonte - KUKA Industrial Robots

Una cella robotizzata per la pallettizzazione con due punti di scarico del materiale è rappresentata in fig. 4-14. Poiché con questo tipo di postazione l'operatore entra frequentemente nella zona di lavoro del robot per estrarre pallet, è necessario rendere la zona sufficientemente sicura, in maniera tale che la collisione del robot con altri macchinari o con l'operatore non si verifichi. Queste postazioni generalmente sono equipaggiate con scanner il cui scopo è monitorare continuamente la zona di lavoro ed individuare intrusioni accidentali.

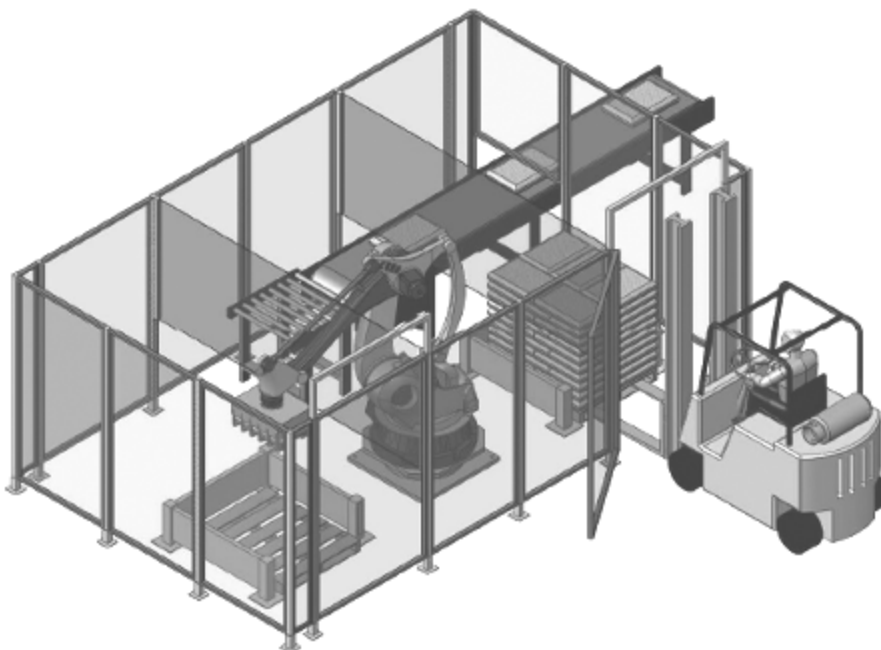


Fig. 4-14 Cella di pallettizzazione con due punti di scarico; fonte – trillium automation Inc.

4.3.3. Verniciatura

La verniciatura robotizzata è utilizzata di frequente e, in particolare, si rende necessaria se i vapori prodotti sono dannosi per la salute. Inoltre, questo metodo permette di risparmiare il 25 - 30% di vernice rispetto alla verniciatura manuale. Tra gli altri vantaggi c'è una minore necessità di manutenzione ed un incremento di sicurezza dovuto alla minore presenza di operatori in aree pericolose.

I robot impiegati in questo tipo di lavorazione, già nelle loro configurazioni base, sono dotati di sistemi di distribuzione per il trasferimento delle vernici all'organo terminale. I tubi ed i cavi, che in passato erano collocati all'esterno del robot, vengono alloggiati in cavità ricavate all'interno dei bracci del robot. Questa soluzione costruttiva, vista l'assenza di organi deformabili all'esterno della struttura la cui posizione, peraltro, è difficilmente calcolabile con accuratezza, porta ad un incremento del volume di lavoro del robot, minimizza la probabilità di collisioni e facilita la programmazione.



Fig. 4-15 Postazione per verniciatura; fonte – ABB

Gli organi terminali dedicati alla verniciatura robotizzata sono, in genere, di tipo pneumatico o elettrostatico. Il trasferimento della vernice è realizzato mediante pompe a ingranaggi, e la alimentazione della vernice è realizzata mediante regolatori di pressione controllati pneumaticamente con "misura del flusso". Con questo tipo di controllo si garantisce una erogazione controllata che consente di realizzare verniciature di spessore ridotto. La pompa a ingranaggi è attivata da un servomotore che può essere visto come un ulteriore giunto del robot una volta che è stato connesso al suo sistema di controllo.

Inoltre, c'è la possibilità di controllare la verniciatura direttamente mediante la Tech Pendant. Se è necessario utilizzare diversi tipi di vernice, sono disponibili apposite valvole, controllate pneumaticamente, che permettono il cambio automatico della tinta in 15-30 secondi. E' possibile, quindi, verniciare diverse parti di un componente con strati di diverso spessore. Il robot è protetto con una copertura di tessuto per evitare che possa depositarsi su di esso parte della vernice utilizzata (fig. 4-15). Inoltre, per semplificarne la manutenzione l'esterno e l'interno del robot vengono trattati con uno strato di teflon.

Le postazioni di lavoro devono essere distribuite tenendo presente i diversi tipi di vernice utilizzati. L'utilizzo di vernici liquide, ad esempio, comporta un elevato rischio di esplosione poichè queste sono diluite con solventi speciali altamente infiammabili. Per questo motivo bisogna predisporre delle adeguate protezioni per i componenti elettrici del robot. Per la maggior parte delle vernici in polvere, invece, non si presenta il rischio di esplosione ma la

verniciatura è più lenta a causa della sua minore aderenza. In alcuni casi, in particolare per le materie plastiche, si utilizza, oltre al robot per la verniciatura, un secondo robot per trattare la superficie da verniciare al fine di migliorarne l'aderenza della vernice. Generalmente la superficie è preriscaldata con plasma, mentre è sempre meno impiegato il tradizionale risciacquo con acqua.

Alcuni costruttori di robot integrano la cella con dei sistemi di visione (telecamere) per l'individuazione di eventuali difetti nel processo di verniciatura (e.g. bolle o crepe sulla superficie verniciata).

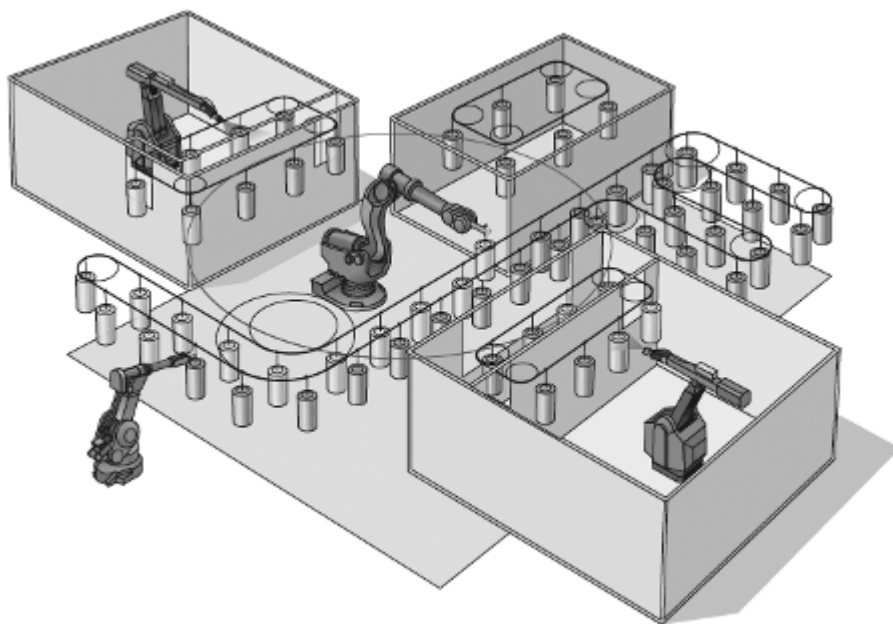


Fig. 4-16 Postazione dotata di due celle robotizzate per la verniciatura; fonte – ABB

Le celle sono dotate, in genere, di un sistema di trasporto a sospensione per i componenti da verniciare e di una postazione in cui i componenti verniciati attendono l'essiccazione della vernice (camera di essiccazione). Un esempio di postazione robotizzata dotata di due celle per la verniciatura è rappresentato in fig. 4-16. Si noti che nella stessa postazione sono presenti due ulteriori robot con la funzione di sistemare i componenti da verniciare sul sistema di trasporto e, dopo la verniciatura, nella camera di essiccazione. In alcuni casi i robot per la verniciatura vengono montati al soffitto. Questo layout permette una riduzione della superficie occupata dalla postazione ed una riduzione del rischio che si depositi vernice sui robot; ciò comporta anche una riduzione dei costi di manutenzione.

4.3.4. Operazioni tecnologiche

I robot industriali sono largamente utilizzati anche per le lavorazioni meccaniche. Questo settore, in particolare, è in continua espansione e ciò è dovuto principalmente alle capacità, sempre crescenti da parte dei robot industriali, di eseguire lavorazioni con elevata precisione. Esempi di applicazioni sono la piegatura di lamiere e la formatura dei tubi.

In entrambi i casi il robot industriale opera come un manipolatore ausiliario che cambia la posizione e l'orientamento del componente nella macchina piegatrice. Un robot industriale KUKA impiegato nella piegatura di lamiere è mostrato in fig. 4-17. E' necessario ovviamente

attrezzare la postazione anche con un alimentatore automatico di semilavorati, che assicuri il loro accurato posizionamento prima che vengano rilevati dal manipolatore. Anche per questo tipo di lavorazione, in alcuni casi, si utilizzano sistemi di visione per il controllo automatico dei componenti fabbricati.



Fig. 4-17 Robot industriale KUKA usato come manipolatore ausiliario al momento della piegatura di componenti in lamiera; fonte - KUKA Industrial Robot

Una postazione per la formatura di tubi, che è provvista di un alimentatore automatico di semilavorati, è rappresentata in fig. 4-18. L'alimentazione regolare di semilavorati è realizzata mediante uno step feeder (alimentatore a gradino).



Fig. 4-18 Cella robotizzata per la formatura di tubi; fonte – Mewag Innovation

Robot industriali, in genere a sei assi, si utilizzano anche per le lavorazioni di taglio. Tuttavia bisogna tenere in considerazione che, essendo comunque una catena cinematica seriale, probabilmente la massima accuratezza ottenibile non sarà mai comparabile con quella

ottenibile dalle tradizionali macchine da taglio (principalmente per la minore rigidità della struttura). Per questo motivo un robot industriale può essere utilizzato per applicazioni che non richiedono elevata precisione. Un organo terminale da taglio prodotto dalla ABB è mostrato in fig. 4-19.

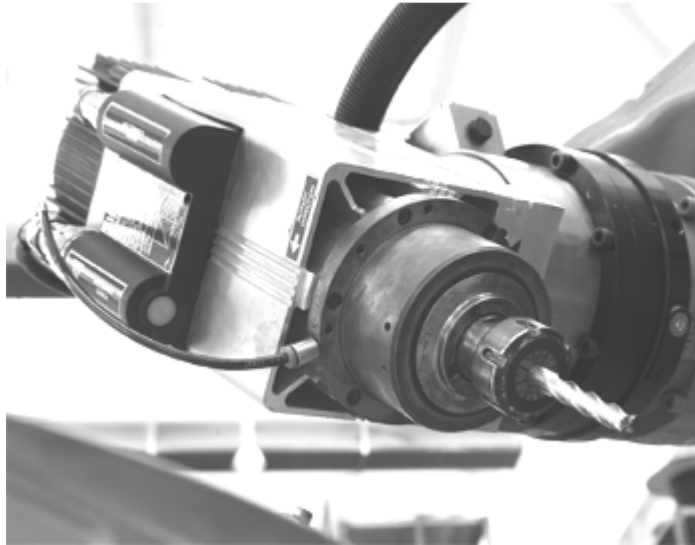


Fig. 4-19 Organo terminale da taglio di un robot industriale ABB (Cutting head of an ABB robot); fonte – ABB

I robot industriali sono utilizzati molto frequentemente anche nelle operazioni di rettifica. In questi casi, in genere, è necessario utilizzare un sensore di forza collocato tra la flangia del robot e il suo organo terminale. Questa tipologia di sensore misura la forza e/o il momento che nasce all'organo terminale, dovuto al contatto tra esso e l'ambiente circostante. Utilizzando un controllo di forza è possibile fare in modo che la forza di contatto esercitata dalla mola sul componente da rettificare sia costante. Un esempio di rettifica di un cerchione utilizzando un robot industriale Fanuc è mostrato in fig. 4-20.



Fig. 4-20 Rettifica di un cerchione; fonte – PushCorp, Inc.

Anche per l'operazione di incollaggio (fig. 4-21) è possibile utilizzare un robot. In questo caso la postazione deve essere equipaggiata con una pistola, un alimentatore automatico di collante ed una centralina termica. Quest'ultima permette di mantenere la pistola ad una temperatura tale da evitare l'essiccazione del collante in caso di prereperiodi di inattività prolungata del robot, che potrebbero verificarsi, ad esempio, in caso di alimentazione irregolare dei semilavorati. Proprio come per le celle per verniciatura, spesso si utilizza un robot ausiliario.

Spesso, per l'incollaggio di materie plastiche, si opera un preriscaldamento delle superfici del componente mediante una torcia al plasma.

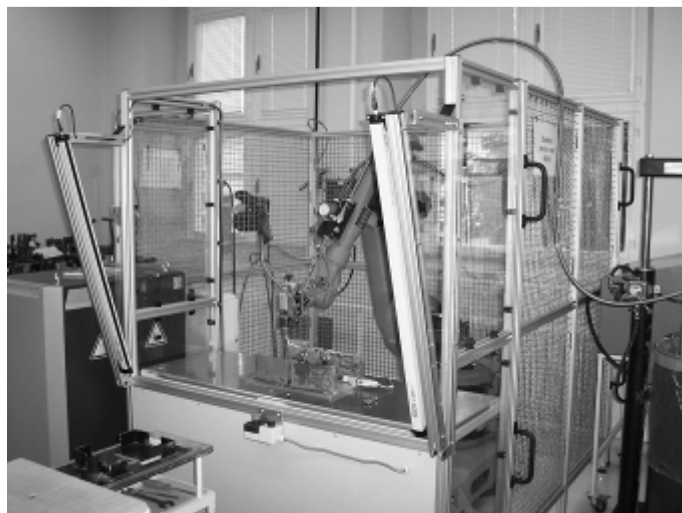


Fig. 4-21 Incollaggio operato mediante un robot KUKA; fonte – Blumenbecker Prag S.r.l.

Per il corretto funzionamento della postazione è necessario dotare la cella di un adeguato sistema di alimentazione (ad es. nastro trasportatore, si veda il paragrafo 3.4) e di sistemi di visione. I moderni sistemi di visione consentono, infatti, di verificare la forma dei componenti, il corretto assemblaggio del complessivo, nonché l'individuazione della posizione dei componenti nastro trasportatore e il loro assemblaggio, anche se la disposizione di questi sul nastro trasportatore non è corretta.

Per verificare il corretto assemblaggio del complessivo si può operare in diversi modi verificando, ad esempio, la forza (o il momento) esercitata tra i componenti all'atto del montaggio, oppure verificando la presenza di giochi (che consentono piccoli movimenti relativi tra i componenti), o ancora testando direttamente le funzionalità del prodotto.

Per dare alla cella la massima flessibilità si utilizzano dispositivi che consentono di cambiare utensile alla punta del robot automaticamente in base alle diverse lavorazioni da eseguire.

5. Ambiente di programmazione

5.1. Introduzione

In questo capitolo verranno analizzate le principali problematiche connesse all'utilizzo di robot industriali, in particolare la programmazione e la pianificazione del moto per l'esecuzione di applicazioni semplici (ad es. operazioni di pallettizzazione). Poiché esistono numerose tipologie di robot industriali, classificabili secondo diversi criteri, si farà riferimento, per fissare le idee, ad un robot antropomorfo a 6 DOF che è tra i più utilizzati nell'industria. Inoltre, ciascun produttore di robot (KUKA, ABB, FANUC, MOTOMAN, PANASONIC, REIS, COMAU, Mitsubishi, etc) sviluppa uno specifico linguaggio di programmazione che differisce dagli altri per diversi aspetti tra cui la sintassi e questo rende impossibile trattare l'argomento in maniera generale. Negli esempi proposti nel seguito si farà riferimento ai due principali produttori di robot, KUKA e ABB e ai rispettivi linguaggi di programmazione da essi sviluppati, KRL e RAPID.

I robot industriali possono essere programmati in linea (metodo on-line) e fuori linea (metodo off-line). Il primo metodo è del tipo ad insegnamento diretto (*teaching-by-showing*). Il secondo metodo è basato sulla ricostruzione virtuale in 3D della cella di lavoro robotizzata, utilizzando software dedicati, con cui è possibile definire i movimenti e il percorso del robot, e poi esportare i dati nel linguaggio di programmazione proprio del robot da utilizzare (ad es. KRL, RAPID).

Attualmente si sta cercando di combinare i due metodi di programmazione al fine di usufruire dei loro rispettivi vantaggi. Questo capitolo tratterà, in particolare, il metodo on-line. Uno dei più interessanti e recenti filoni di ricerca riguarda lo sviluppo di tecniche di programmazione interattiva dei robot industriali. Si tratta di una tecnica basata sulla interazione (o cooperazione) tra il robot e l'operatore che non verrà analizzata in queste note. Ulteriori informazioni sono reperibili sul sito www.smerobot.org.

5.2. Programmazione on-line

Questo metodo, che riveste ancora un ruolo fondamentale nella programmazione dei robot industriali, è, come già detto, del tipo ad insegnamento diretto (*teaching-by-showing*). L'operatore programma il robot "guidandolo", letteralmente, lungo il percorso di moto desiderato, generalmente mediante un *teach pendant*. I dati relativi al movimento vengono prima prelevati dai trasduttori di posizione posti ai giunti del manipolatore, quindi vengono registrati ed, infine, vengono utilizzati come riferimenti per il moto.

Sovente l'operazione di programmazione viene eseguita direttamente nella postazione in cui il robot dovrà operare.

Il vantaggio principale del metodo di programmazione on-line è che, data la sua semplicità, non richiede operatori con competenze specifiche. Per contro è necessario che il robot sia a disposizione dell'operatore al momento della programmazione e che venga allontanato dalle funzioni produttive.

Nella figura seguente (fig. 5-1) sono mostrati i componenti fondamentali del sistema robotico: robot industriale a 6 DOF, unità di governo, *teach pendant* e PC per la programmazione off-line.



Fig. 5-1 Componenti fondamentali di un sistema robotico industriale

5.2.1. Interfaccia utente – *teach pendant*

Sebbene, oggi, siano disponibili soluzioni wireless (*wireless teach pendant*), sono ancora largamente utilizzate *teach pendant* connessi via cavo all'unità di governo del robot. Gli attuali teach pendant possono essere divisi in due categorie, che differiscono per la loro configurazione:

- **Configurazione verticale** (fig. 5-2)

Ciò che caratterizza questo design è una altezza maggiore della larghezza, un display relativamente piccolo collocato sulla parte alta ed una pulsantiera collocata al di sotto del display. In generale l'operatore necessita di entrambe le mani per utilizzare il dispositivo in maniera corretta.



Fig. 5-2 Esempi di teach pendant a configurazione verticale (dalla destra: Motoman; Reis; Kawasaki; Fanuc)

- **Configurazione orizzontale** (fig. 5-3 and fig. 5-4)

Contrariamente alla precedente, questa tipologia è caratterizzata da una larghezza maggiore dell'altezza ed un display più ampio. La forma del dispositivo è tale da consentire

all'operatore di tenerla con una sola mano (generalmente la sinistra). Teach pendant di questo tipo integrano, in genere, dispositivi di input per il controllo manuale del moto del robot che può essere un joystick a 3 gradi di libertà oppure uno space mouse a 6 gradi di libertà. Questi dispositivi sono in genere controllati dalla mano destra che è libera.



Fig. 5-3 Esempi di teach pendant a configurazione orizzontale ABB (dalla sinistra: un vecchio modello di teach pendant per il sistema di controllo S4CPlus; un teach pendant di nuova generazione per ABB IRC5 – (il così detto flex pendant).



Fig. 5-4 Esempi di teach pendant KUKA (dalla sinistra: la tipologia attuale; prototipo di un teach pendant wireless con touch screen ed interfaccia vocale)

5.2.2. 6 DOF industrial robot

Per il controllo del moto del robot nella modalità manuale (on-line), l'operatore ha due opzioni disponibili:

- **Programmazione del moto del singolo giunto**

In questa modalità è possibile muovere singolarmente ogni asse del robot (dall'asse A1 all'asse A6 in fig. 5-5) sia in senso orario, che antiorario. La struttura cinematica del manipolatore (collocazione dei giunti, direzione degli assi e così via) influenza, ovviamente, il suo spazio di lavoro. In fig. 5-6 è mostrato, a scopo illustrativo, un esempio di un tipico spazio di lavoro di manipolatore a sei giunti.

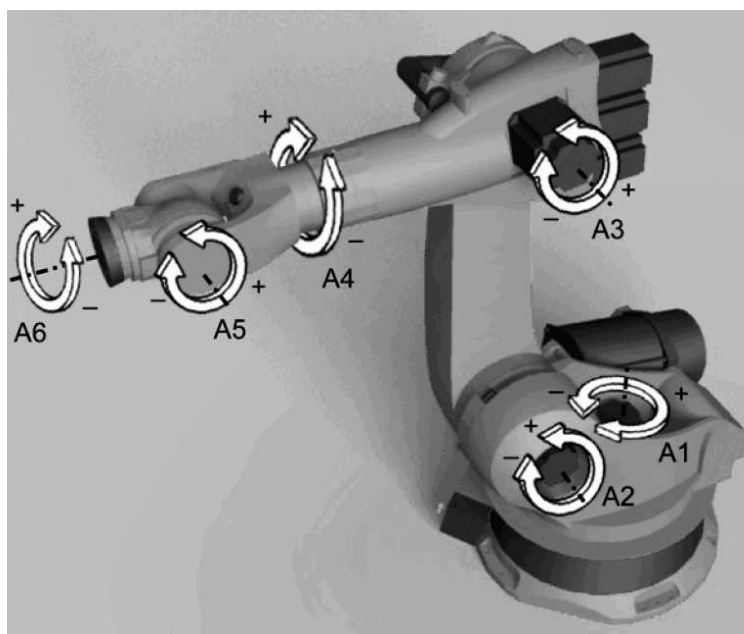


Fig. 5-5 Rappresentazione degli assi dei giunti per un robot industriale antropomorfo a 6 DOF.

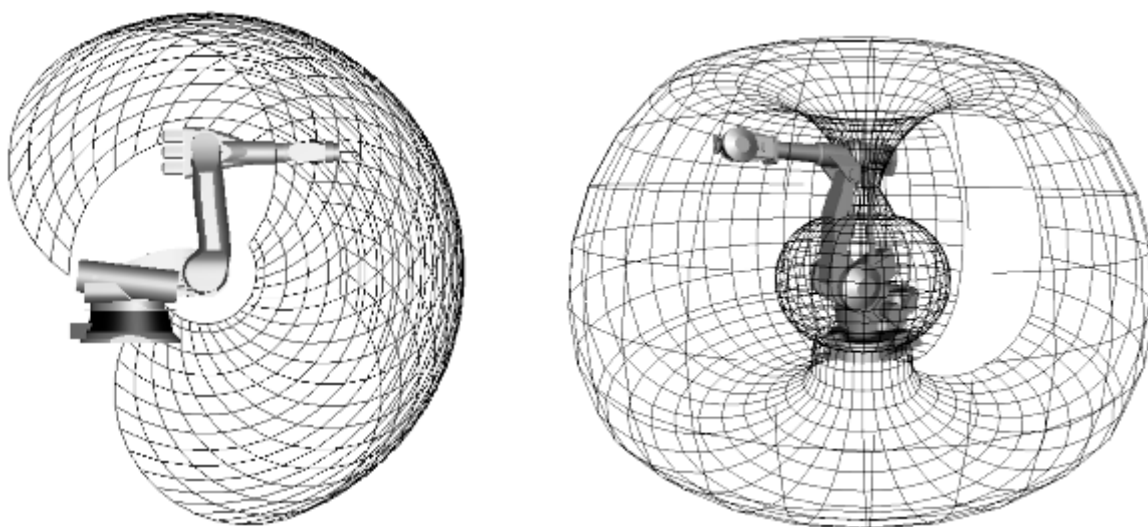


Fig. 5-6 Tipico spazio di lavoro di un robot a 6 DOF (dalla sinistra: spazio di lavoro relativo agli assi 2 e 3 del robot KUKA KR150-2 K; spazio di lavoro complessivo del robot ABB IRB 4400)

- **Programmazione del moto nello spazio operativo**

Questa modalità consente di programmare il moto direttamente nello spazio operativo sia traslando l'origine della terna utensile (*Tool Centre Point - TCP*) lungo i suoi assi coordinati sia ruotandola attorno ai suddetti assi.

I diversi costruttori utilizzano denominazioni diverse per i vari sistemi di riferimento. Nelle figure seguenti sono rappresentate le terne di riferimento per i robot KUKA e ABB (fig. 5-7 and fig. 5-8), si veda la tabella 5.1 per un confronto. In generale è possibile definire tre sistemi di riferimento fondamentali:

- o **Sistema di riferimento mondo**

E' la terna di riferimento fondamentale rispetto alla quale si definiscono posizione ed orientamento di tutti i componenti della cella, in particolare il robot (ROBROOT per i robot KUKA, Robot Base Coordinate System per i robot ABB). Generalmente questo sistema di riferimento è collocato alla base del robot stesso.

- o **Sistema di riferimento base**

E' un sistema di riferimento cartesiano, definito dall'utente, che descrive posizione ed orientamento, rispetto alla terna mondo, del componente che è oggetto della lavorazione da parte del robot (pezzo, pallet, e così via) rispetto al sistema di riferimento base. Per i robot Kuka si usa il termine Base, mentre invece ABB fa distinzione tra User Coordinate System e Object Coordinate System (fig. 5-8), tuttavia il significato e l'utilità non cambiano. La terna Base può essere definita, ad esempio, fissando tre punti nello spazio (si veda la fig. 5-8, punti X1, X2, Y1).

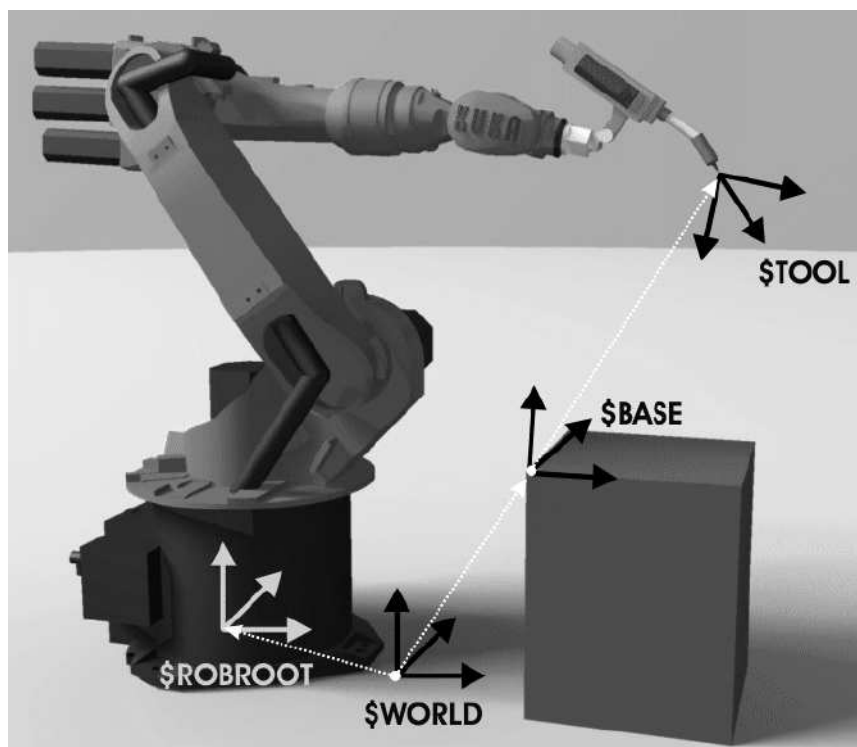


Fig. 5-7 Sistemi di riferimento (KUKA)

- o **Sistema di riferimento utensile**

Questo sistema di riferimento cartesiano descrive la posizione e l'orientamento della terna utensile, con origine nel TCP, rispetto alla terna base (o ad una qualsiasi altra terna).

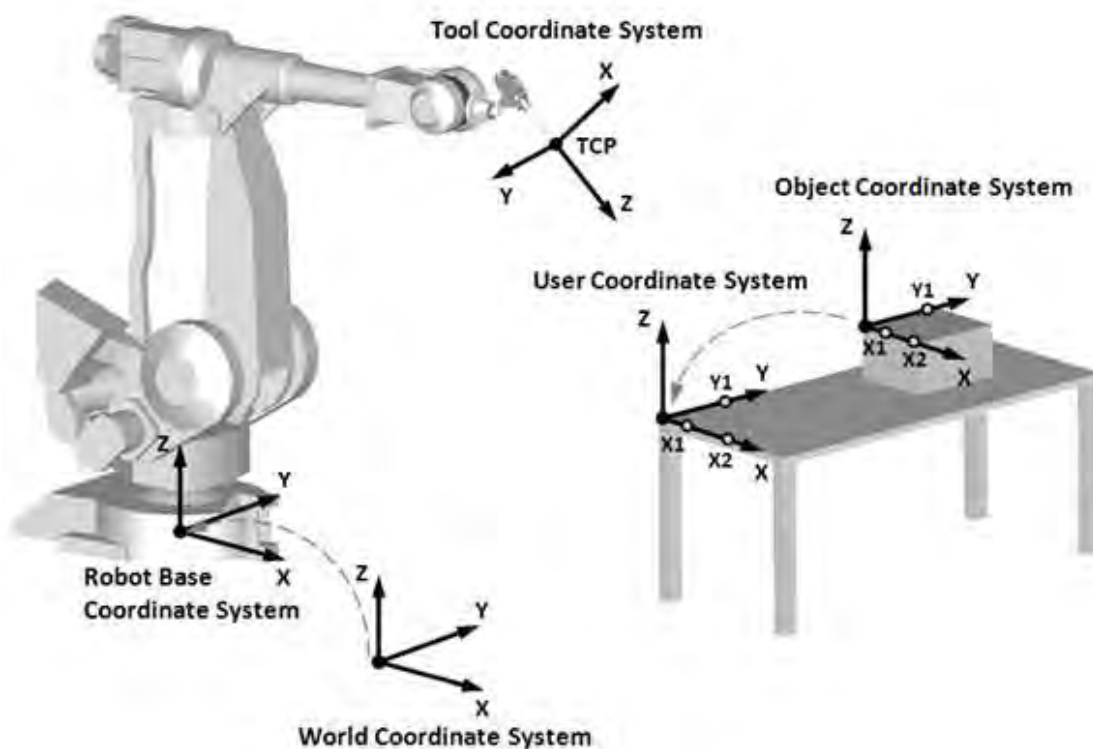


Fig. 5-8 Sistemi di riferimento (ABB)

Tab. 5.1: Confronto tra i sistemi di riferimento usati per i robot KUKA e ABB.

	KUKA	ABB
<i>Sistema di riferimento mondo</i>	- World Coordinate System	- World Coordinate System
<i>Sistema di riferimento base del robot</i>	- ROBROOT	- Robot Base Coordinate System
<i>Sistema di riferimento base</i>	- BASE	- User Coordinate System - Object Coordinate System
<i>Sistema di riferimento utensile</i>	- Tool Coordinate System	- Tool Coordinate System

La programmazione del moto nello spazio operativo è notevolmente più semplice rispetto alla programmazione “giunto per giunto ” (moto ad impulsi). Naturalmente il sistema di controllo del robot implementa algoritmi, che possono variare tra i robot di diversi costruttori, per la trasformazione di coordinate e per il calcolo della cinematica inversa (in fig. 5-9 sono rappresentate le principali differenze KUKA e ABB). Si parla di cinematica diretta quando si calcolano posizione ed orientamento della terna utensile a partire dai valori delle variabili di giunto, mentre si parla di cinematica inversa quando si calcolano le variabili di giunto a partire dalla posizione e dall’ orientamento dell'organo terminale.

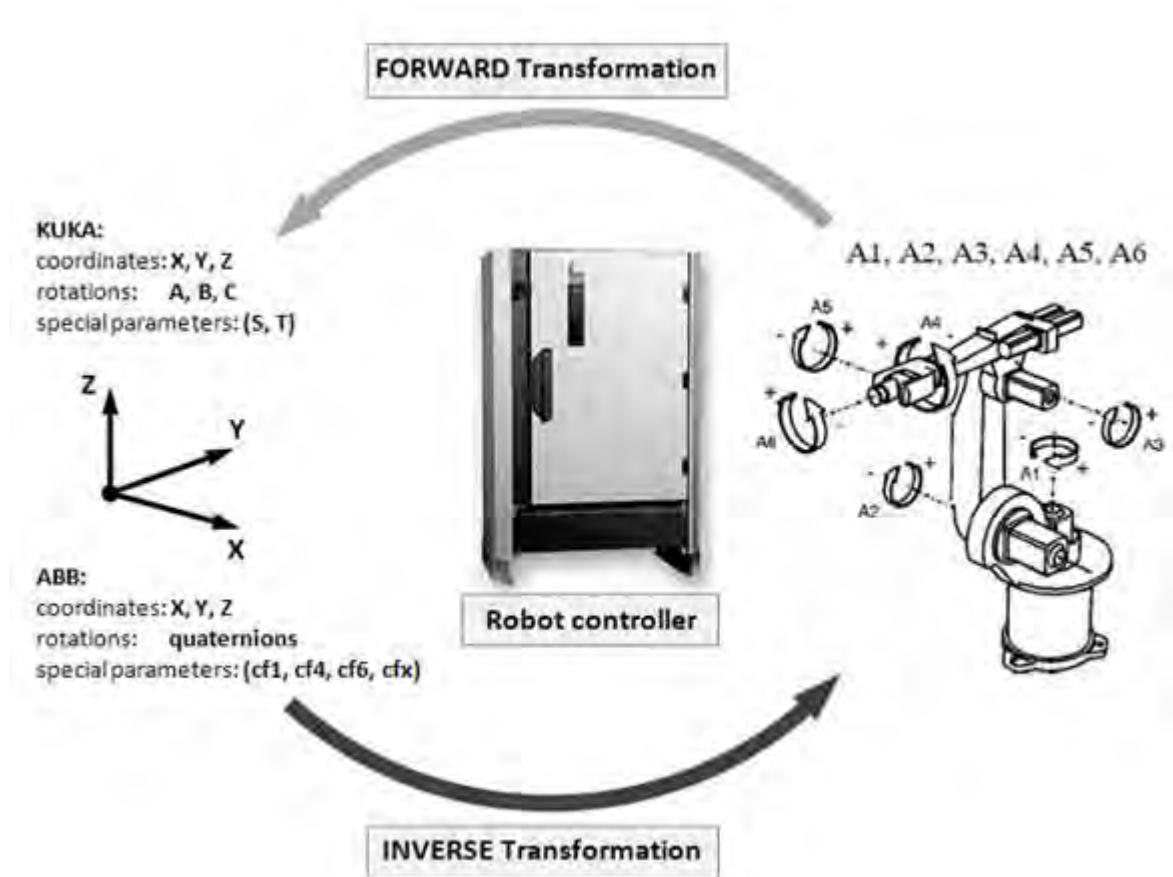


Fig. 5-9 Trasformazione di coordinate

5.2.3. Tipologie principali di moto.

Le tipologie principali di moto includono, in particolare, le seguenti categorie:

- **Moto generico** (fig. 5-10)

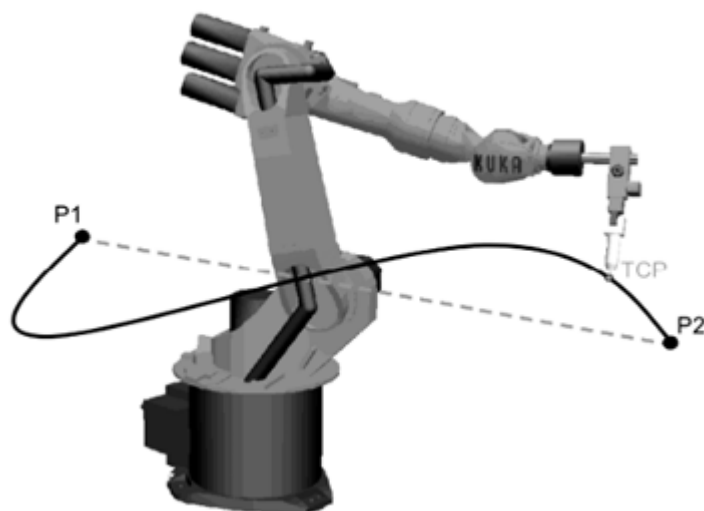


Fig. 5-10 Moto generico

Per questa tipologia di moto l'origine della terna utensile (TCP) si muove nel minor tempo possibile tra due punti P1 e P2 ed, in generale, il percorso di lunghezza minore non è necessariamente quello più breve. Inoltre, il robot non segue un percorso rettilineo in quanto, essendo i giunti del robot rotoidali, il moto lungo un percorso curvilineo richiede un tempo minore rispetto a quello lungo una traiettoria rettilinea. Inoltre, è necessario sottolineare che, dopo che l'operatore ha salvato le coordinate di due punti assegnati ed ha definito il moto generico tra di essi, la traiettoria risultante non è nota in anticipo. Questo tipo di moto è utilizzato per un rapido spostamento nello spazio e, in generale, laddove non vi sono rischi di collisione.

Questo tipo di moto è definito dalla KUKA moto "punto-punto" (*PTP motion, point-to-point*) mentre ABB utilizza il comando MoveJ (*joint move*).

- **Percorso rettilineo** (fig. 5-11)

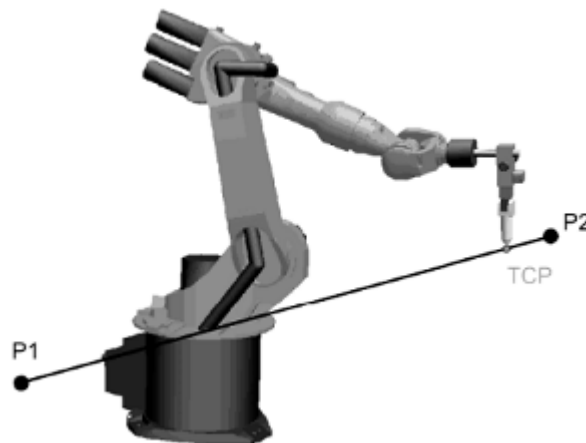


Fig. 5-11 Percorso rettilineo

L'origine della terna utensile (TCP) si muove lungo un tratto lineare che connette i due punti assegnati P1 e P2 ad una velocità costante (mm/s).

La relativa istruzione nell'ambiente di programmazione fornito da KUKA è KUKA LIN (*LIN motion*) invece ABB utilizza l'istruzione MoveL (*Linear move*).

- **Moto circolare** (fig. 5-12)

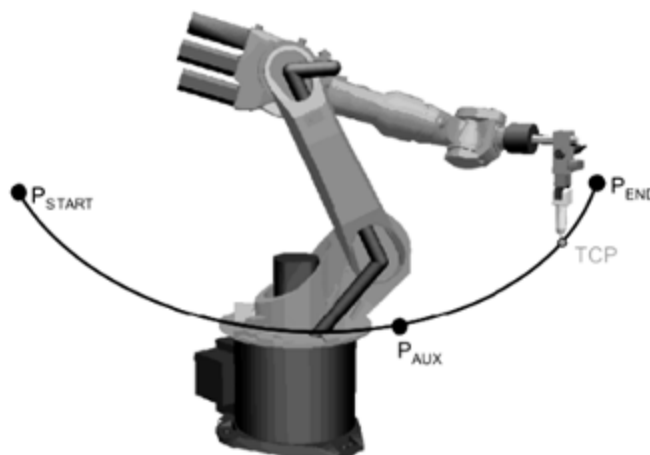


Fig. 5-12 Moto circolare

L'origine della terna utensile (TCP) si muove a velocità costante (mm/s) lungo una traiettoria circolare da un punto iniziale (P start) ad un punto finale (PEND). Il raggio della circonferenza è definito da un punto ausiliario (PAUX, punto di via). L'istruzione nel linguaggio sviluppato da KUKA è CIRC (CIRC motion), per ABB è MoveC (Circular move).

5.2.4. Approssimazione del moto

In generale si può dire che l'utilizzo delle tipologie di moto fondamentali, precedentemente definite, di per se, non sarebbe sufficiente per la maggior parte delle applicazioni pratiche. Una caratteristica comune, peraltro necessaria, a tutti i moti definiti è che la velocità dell'organo terminale, in corrispondenza del punto finale di ciascuna primitiva di percorso (P2, PEND, si veda sopra), deve annullarsi. Infatti, immaginando di pianificare il moto mediante l'unione di più primitive (lineari o circolari), nei punti di contatto si avrebbero necessariamente delle spigolosità, in corrispondenza delle quali si verificherebbe una discontinuità della velocità. Pertanto, per inseguire il riferimento assegnato, il robot dovrà arrestare il suo moto in ogni punto intermedio. Se si è disposti a rinunciare al vincolo di passaggio per i punti di cui sopra, è possibile fare in modo che il robot vi passi "vicino" mantenendo una curvatura regolare che consente di proseguire il moto senza fermarsi. In questo caso i punti in oggetto sono chiamati punti di via. Di conseguenza la traiettoria sarà più regolare e più veloce. Perciò questa "approssimazione" consente anche una riduzione del ciclo di lavoro complessivo, che è un tempo assegnato e che si può considerare uno dei principali parametri in base ai quali progettare la cella robotizzata.

- **Approssimazione per il moto generico (fig. 5-13)**

L'origine della terna utensile non passa per il punto P2 ma segue un percorso che la porta al punto P3 più rapidamente. Anche in questo caso non è possibile conoscere in anticipo il percorso che seguirà l'origine della terna utensile.



Fig. 5-13 Moto generico (PTP, MoveJ); il punto P2 è approssimato.

- **Approssimazione per il moto lineare (fig. 5-14)**

L'origine della terna utensile passa "vicino" al punto P2 secondo un percorso a curvatura regolare. Di conseguenza il robot può proseguire il moto senza fermarsi e di conseguenza percorre la traiettoria in un tempo minore. E' possibile definire una misura della distanza tra i due percorsi (raggio).

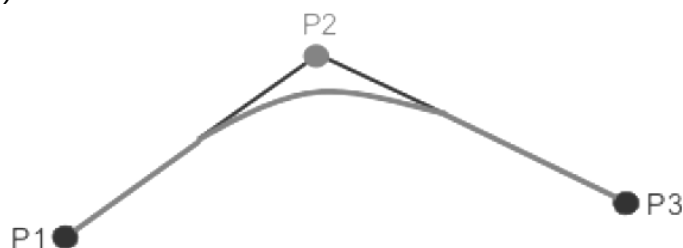


Fig. 5-14 Moto rettilineo (LIN, MoveL), il punto P2 è approssimato.

- **Approssimazione del moto circolare** (fig. 5-15)

L'origine della terna utensile TCP non prosegue lungo il percorso circolare che porta al punto finale del percorso circolare P_{END} e si muove secondo un percorso a curvatura regolare che, per gli stessi motivi precedentemente esposti, richiede un tempo minore per raggiungere il punto P. Anche in questo caso è possibile definire una misura della approssimazione del percorso (raggio).

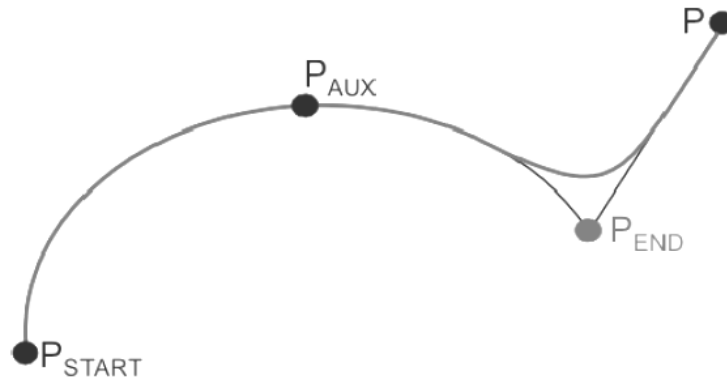


Fig. 5-15 Moto circolare (CIRC, MoveC), il punto P_{END} è approssimato.

- **Esempio di un percorso con approssimazione del moto** (fig. 5-16)

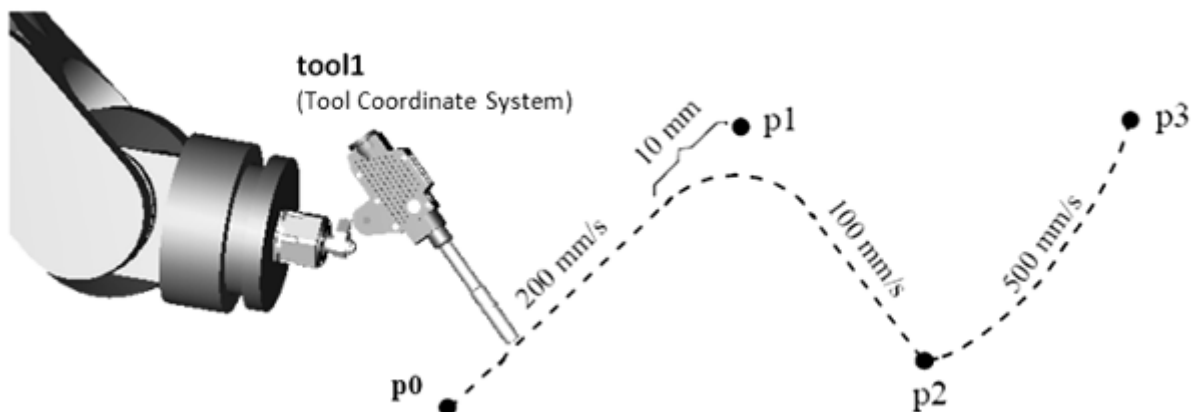


Fig. 5-16 Esempio di un percorso con approssimazione del moto: il punto P1 è approssimato

Si assume che il punto di partenza dell'organo termianle del robot sia p0. Le istruzioni, seconso la sintassi utilizzata per i robot ABB (linguaggio RAPID) che consentono al robot di seguire la traiettoria da p0 a p3 (attraverso p1 e p2) sono:

1. **MoveL p1, v200, z10, tool1**
2. **MoveL p2, v100, fine, tool1**
3. **MoveJ p3, v500, fine, tool1**

Il valore z10 (10 mm di raggio) è critico per l'approssimazione. Il valore "fine" è usato per i tratti senza approssimazione.

5.2.5. Breve panoramica delle istruzioni per i robot ABB

- **robtargt** – definisce la posizione del robot nello spazio (si veda l'esempio in fig. 5-17)

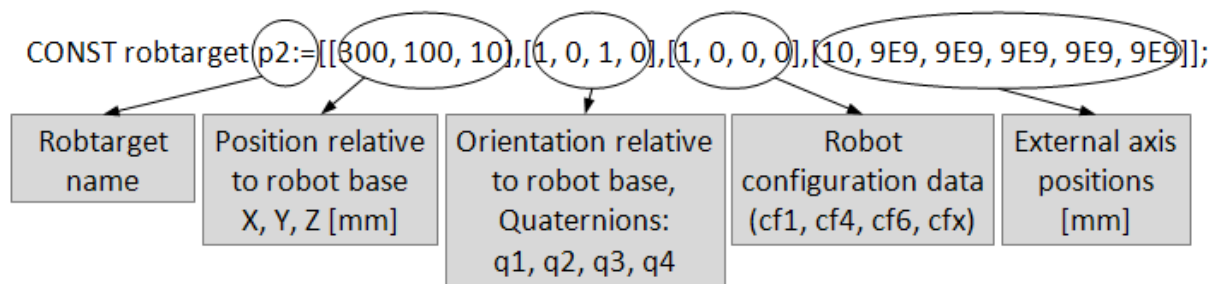


Fig. 5-17 Esempio di definizione di un punto - robtarget, linguaggio Rapid, ABB

- **wobjdata** – work object, definisce la posizione del sistema di riferimento utente (User frame e Object frame, ma Object frame può essere anche zero, si veda ad esempio la fig. 5-18)

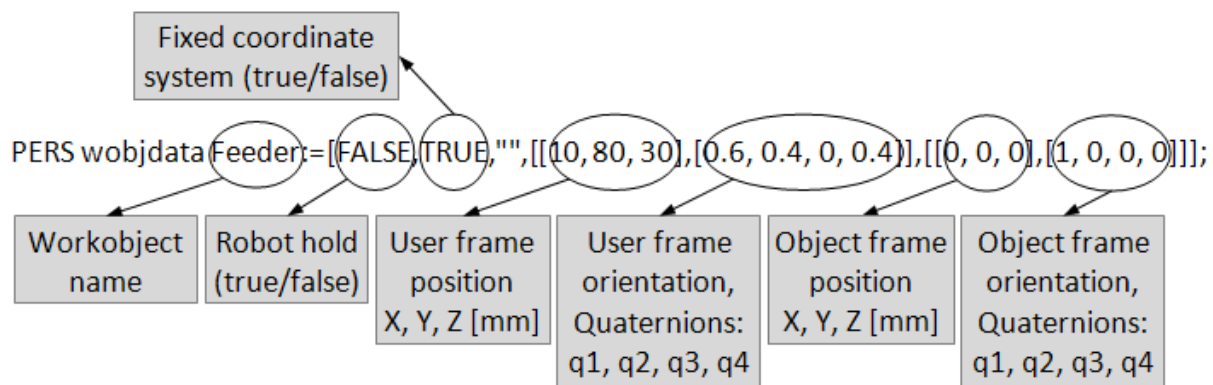


Fig. 5-18 Esempio di definizione della terna di riferimento utente. - wobjdata, linguaggio Rapid, ABB

- **tooldata** – definisce il sistema di riferimento utensile e altre sue caratteristiche (per un esempio si veda la fig. 5-19)

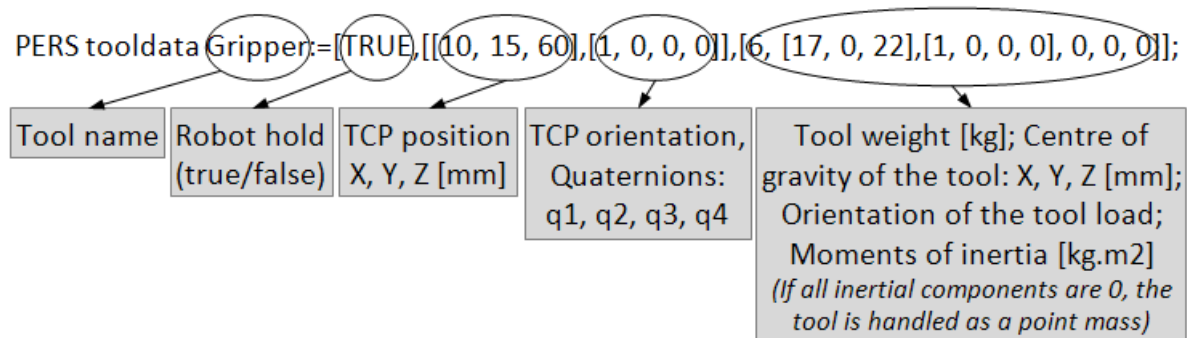


Fig. 5-19 Esempio di definizione del sistema di riferimento solidale al componente - wobjdata, linguaggio Rapid, ABB

- **istruzioni per le tipologie di moto fondamentali** – moto generico, moto lineare, moto circolare (per un esempio si veda la fig. 5-20)

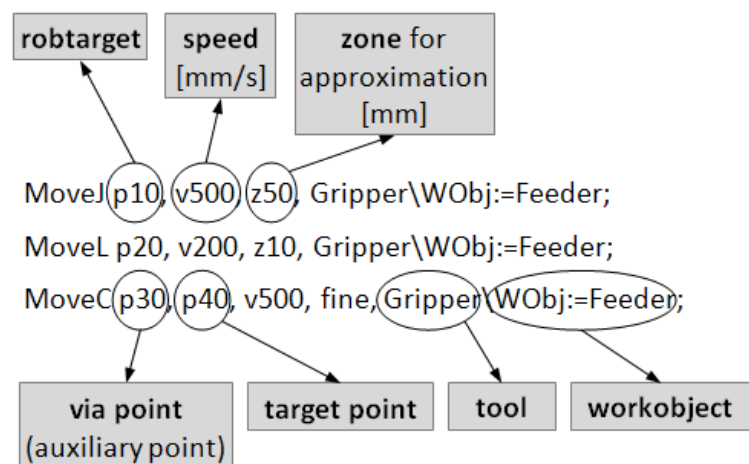


Fig. 5-20 Esempio di utilizzo delle istruzioni per la programmazione del moto, linguaggio Rapid, ABB

5.2.6. Breve panoramica delle istruzioni per i robot KUKA

La struttura di base del programma per i robot KUKA (linguaggio KRL) è mostrata in fig. 5-21.

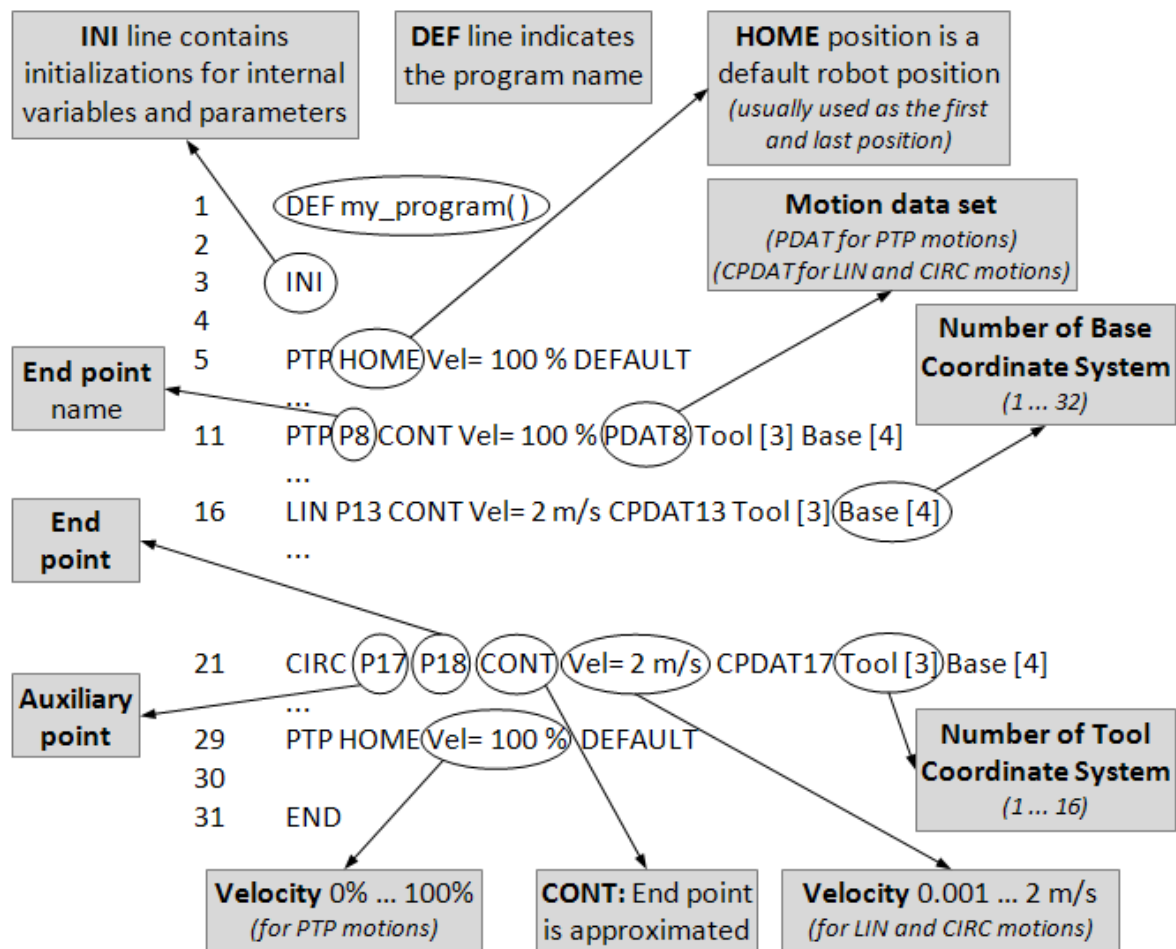


Fig. 5-21 Esempio di utilizzo delle istruzioni per la programmazione del moto, linguaggio KRL, KUKA

5.2.7. Caso studio: Compito di pallettizzazione

Compito:

Due nastri trasportatori (Feeder_1, Feeder_2) alimentano, in maniera irregolare, un robot industriale. Il robot preleva i componenti dalla posizione 1 (Position_1) e dalla posizione 2 (Position_2). La presenza di componenti nelle rispettive posizioni è segnalata da fotocellule. Il compito del robot è posizionare i componenti, 45 in totale, sul pallet ed inviarli, mediante un nastro trasportatore, alle successive postazioni (fig. 5-22).

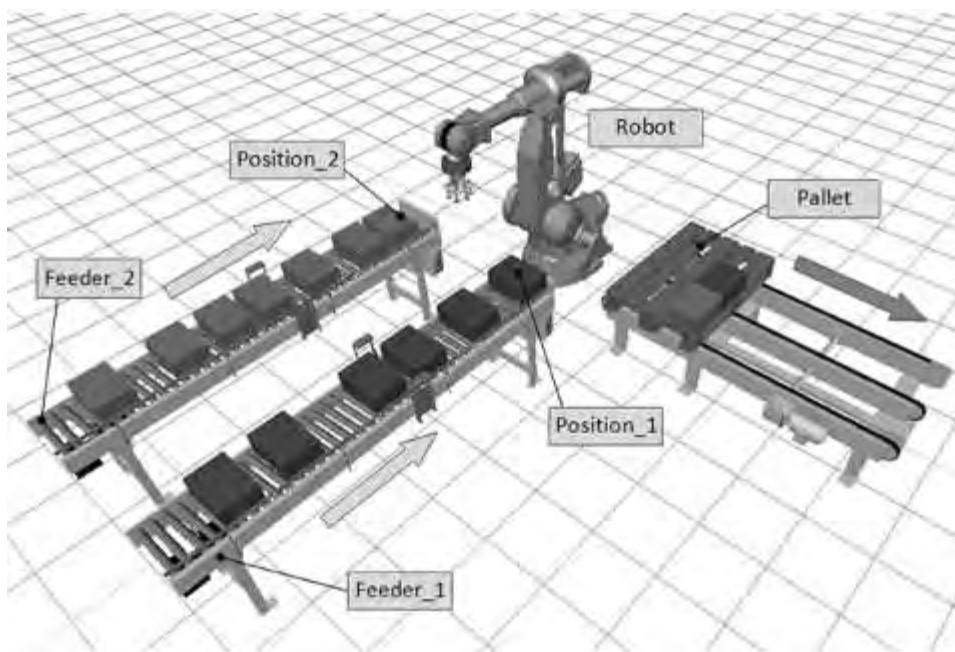


Fig. 5-22 Schema della cella robotizzata per un compito di pallettizzazione

• Diagramma di flusso

Per la scrittura di codice di programmazione, ed in particolare per la programmazione relativa alla pianificazione di un compito, è utile scomporre la procedura in operazioni elementari e rappresentare l'algoritmo mediante un diagramma di flusso. Nella tabella 5.2 sono rappresentati alcuni simboli utilizzati per la costruzione dei diagrammi di flusso.

Tab. 5.2: Elementi di base costituenti il diagramma di flusso.

• inizio o fine della programmazione	• diramazioni (istruzioni condizionali, etc.)	• operazioni elementari
Start	<pre> graph TD D1{Di1=1} -- No --> Out1[] D1 -- Yes --> Out2[] </pre>	Grip 1

• Diagramma per la programmazione del compito di pallettizzazione (fig. 5-23)

Si definiscono le seguenti variabili, segnali e procedure:

- o un contatore per i 45 componenti – *Counter*
- o ingressi dei sensori che segnalano la presenza dei componenti nelle posizioni 1 e 2 - *Di1* e *Di2*
- o procedure di manipolazione dei componenti dalle posizioni 1 e 2 - *Get_From_Pos1* and *Get_From_Pos2*
- o procedure per il posizionamento dei componenti sui pallet - *Palletize*
- o segnali di uscita per il rilascio dei componenti sul pallet - *Release_Pallet*

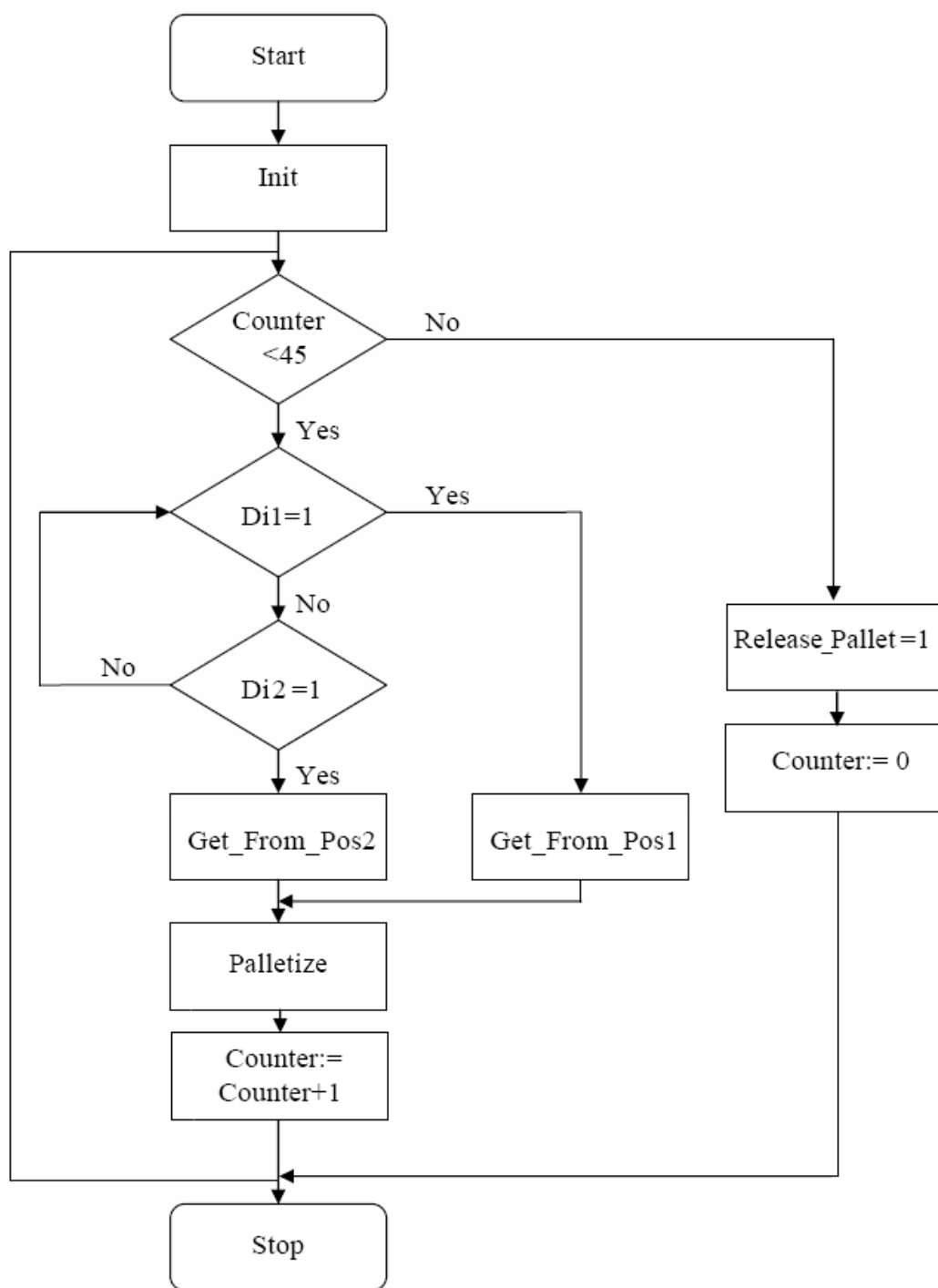


Fig. 5-23 Diagramma di flusso relativo al compito di palletizzazione

- **Programmazione del compito di pallettizzazione** (per la struttura del programma si veda la fig. 5-24)

1. Program data declaration	
MODULE Palletize_task	; Name of the program- Palletize_task
VAR Counter :=0;	; Definition of the counter
CONST robtarget Get_Comp_1 :=[[...]];	; Grasp a component from position 1 (Feeder_1)
CONST robtarget Get_Comp_2 :=[[...]];	; Grasp a component from position 2 (Feeder_2)
CONST robtarget Pallet_Pos :=[[...]];	; Ungrasp the component on the pallet
PERS tooldata Gripper :=[[...]];	; Definition of the tool coordinate system
PERS wobjdata Pallet :=[[...]];	; Work object definition, User Coordinate System
PERS wobjdata Feeder_1 :=[[...]];	; Work object definition, User Coordinate System
PERS wobjdata Feeder_2 :=[[...]];	; Work object definition, User Coordinate System
2. Subroutines with instructions	
PROC Grasp()	; Close Gripper – Grasp component
"Close Gripper";	
ENDPROC ;	
PROC Ungrasp()	; Open Gripper – Ungrasp component
"Open Gripper";	
ENDPROC	
PROC Palletize()	; Ungrasp the component on the pallet
MoveL Pallet_Pos ,v500,fine, Gripper \wobj:= Pallet	; Linear motion to Pallet_Pos
Ungrasp ;	; Subroutine call
ENDPROC	
PROC Get_From_Pos1 ()	
WaitUntil Di1 =1;	; Is the component ready in position 1?
MoveL Get_Comp_1 ,v50,z5, Gripper \wobj:= Feeder_1	; Linear motion to grasp a component
Grasp ;	; Subroutine call
ENDPROC	
PROC Get_From_Pos2 ()	
WaitUntil Di2 =1;	; Is the component ready in position 2?
MoveL Get_Comp_2 ,v50,z5, Gripper \wobj:= Feeder_2	; Linear motion to grasp a component
Grasp ;	; Subroutine call
ENDPROC	
3. Main routine with instructions and subroutine calls	
PROC Main ()	; Any program must contain the main procedure
IF Counter <45 THEN	; Palletize 45 components on one pallet
WaitUntil Di1 =1 OR Di2 =1;	; Wait until components are ready
IF Di1 =1 THEN	; If the signal is activated in position 1
Get_From_Pos1 ;	; Get and grasp the component in position 1
ELSE	
Get_From_Pos2 ;	; Get and grasp the component in position 2
ENDIF	
Palletize ;	; Subroutine call
Counter := Counter +1	
ELSE	
"Release_Pallet:=1";	; Signal that the pallet is ready (45 components)
Counter :=0;	; The counter is reset, next cycle can start
ENDIF	
ENDPROC	
ENDMODULE	; End of the program - Palletize_task

Fig. 5-24 Esempio del codice sorgente per la programmazione di un compito di pallettizzazione – linguaggio Rapid ABB

5.3. Programmazione Off-line.

Questo metodo di programmazione (Off-Line Programming - OLP) si basa sull'utilizzo di sistemi software che consentono sia la ricostruzione della cella robotizzata in un ambiente virtuale 3D (fig. 5-25 and fig. 5-26), sia la pianificazione del moto, mediante simulazione cinematica, in relazione ad una applicazione specifica. In alcuni casi questi strumenti consentono di simulare anche la dinamica del manipolatore. Utilizzando questi ambienti di simulazione è possibile modificare e ottimizzare le operazioni della cella robotizzata. Inoltre è possibile calcolare il tempo impiegato dal robot per l'esecuzione di una lavorazione (il cosiddetto tempo ciclo), è possibile calcolare lo spazio di lavoro, verificare se alcuni punti, percorsi o anche oggetti nello spazio di lavoro sono raggiungibili da parte del manipolatore. I programmi generati off-line possono essere poi caricati nel sistema di controllo del robot mediante opportuni supporti (CD-ROM, USB, etc.).

Alcuni sistemi OLP consentono addirittura la generazione automatica di percorsi, per lavorazioni da eseguire su componenti di forma complessa, a partire da modelli CAD. Per quanto riguarda la sicurezza, i sistemi OLP integrano, in genere, dei moduli per il rilevamento automatico delle collisioni.

Uno dei principali vantaggi nell'utilizzo di sistemi OLP che emerge dalle considerazioni precedenti, è che, a differenza della programmazione on-line, non c'è bisogno di avere disponibile, fisicamente, il robot durante la fase di programmazione; per contro, essa richiede un grado di competenza, da parte dell'operatore, più elevato rispetto alla programmazione online.

L'aspetto fondamentale comunque non è tanto la possibilità di simulare la cella robotica in ambiente virtuale, ma la possibilità di esportare le operazioni pianificate nella sintassi dello specifico linguaggio di programmazione del robot in dotazione (e.g. linguaggio RAPID per i robot ABB, linguaggio KRL per i robot KUKA e così via). Sebbene questa caratteristica sia molto importante e rappresenti la principale utilità dal punto di vista pratico, la maggior parte dei software si concentrano principalmente sulla simulazione e le possibilità di esportazione sono a volte limitate. Mediante l'utilizzo dei software menzionati per la OLP è possibile ottenere un incremento produttivo e di qualità, una riduzione di costi e di tempo necessario per la produzione e per l'assemblaggio della cella robotizzata.

A valle della simulazione e della conseguente generazione, ove possibile, del codice sorgente nello specifico linguaggio di programmazione, è necessario modificare il programma generato in quanto il modello è per sua definizione approssimato.

Perciò è importante quantificare il livello di accuratezza del modello di simulazione rispetto alla cella reale e analizzare con attenzione i risultati delle simulazioni ed i conseguenti programmi sviluppati prima di caricarli nel sistema di controllo del robot.

I pacchetti software commerciali disponibili per la simulazione e la programmazione fuori linea possono essere divisi in due grandi categorie:

- **software sviluppati dai produttori di robot industriali (e.g. ABB, KUKA etc.)**
- **software universali sviluppati da terze parti**

La prima categoria è utilizzata in genere in abbinamento esclusivo ad un robot industriale di un particolare produttore, il che costituisce senz'altro uno svantaggio (non è universale); d'altro canto, il principale vantaggio di questi prodotti è che essi sono principalmente basati sui cosiddetti controller virtuali, i quali garantiscono le stesse possibilità di programmazione dei teach pendant. Inoltre anche l'output, nella forma di programmi off-line, dovrebbe rispettare pienamente la reale sintassi dei robot e le relative possibilità di programmazione. Esempi di questi sistemi sono l'ABB RobotStudio (<http://www.abb.com/>) ed il Kuka.Sim (www.kuka.com).

Il secondo gruppo rappresenta una soluzione universale che presenta il vantaggio di esportare il programma in diversi linguaggi di programmazione e di creare, se necessario, modelli di robot personalizzati (oltre ai diversi modelli CAD disponibili nella librerie). In questo modo uno può scegliere facilmente il robot che meglio si adatta alle proprie necessità quando si progetta una cella robotica.

Uno svantaggio di questi sistemi consiste in una minore accuratezza nel calcolo dei cicli di lavoro; inoltre anche la traiettoria simulata può mostrare piccole deviazioni se paragonata alla traiettoria realmente seguita dal robot, specialmente nell'esecuzione di moti generici.

Comunque, visto che la traiettoria tipica di un robot è costituita da tratti lineari e circolari, una piccola deviazione può essere trascurabile rispetto al moto complessivo. Questa piccola deviazione è spesso imputabile ai diversi algoritmi per il calcolo della cinematica inversa (in alcuni casi anche della dinamica). I costruttori di robot, infatti, sono riluttanti a fornire i loro algoritmi a terze parti.

Sistemi di questo tipo sono, ad esempio, EASY-ROB (<http://www.easy-rob.de/>), RobotWorks (<http://www.robotworks-eu.com>), Workspace5 (www.workspace5.com), eM-Workplace (Robcad, <http://www.robcad.de/>), DELMIA (www.delmia.com).

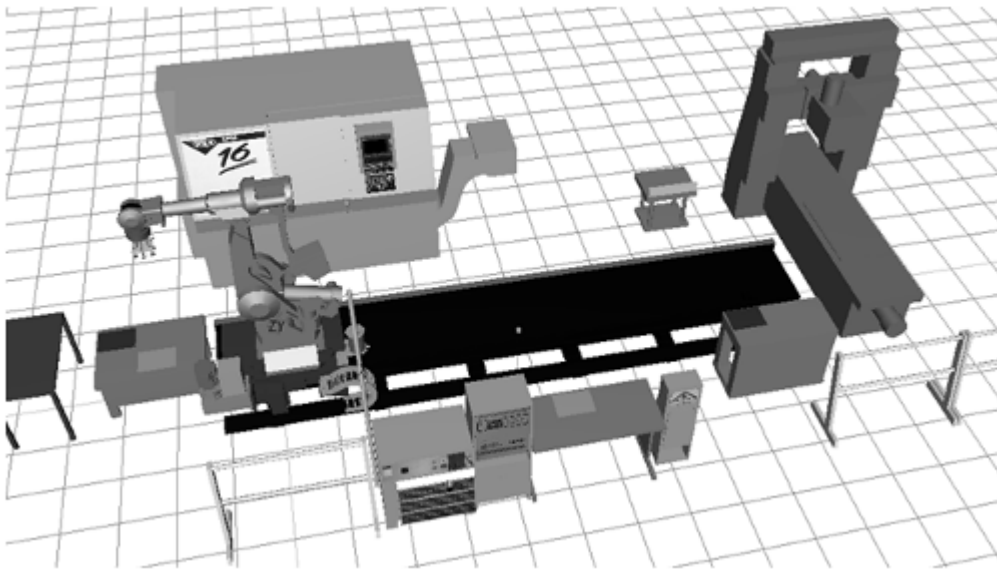


Fig. 5-25 Esempio di simulazione di una postazione per applicazioni di manipolazione con robot ABB.

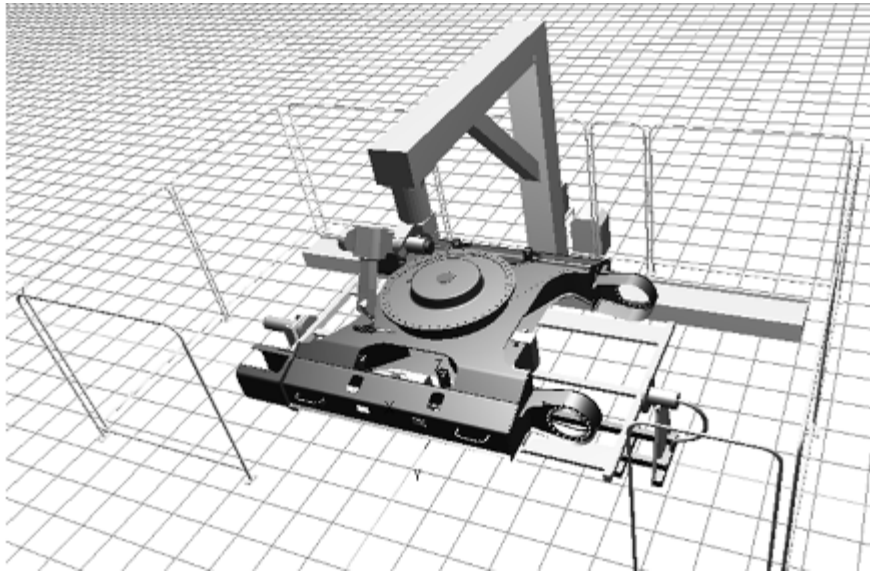


Fig. 5-26 Esempio di simulazione di una cella per applicazioni di saldatura mediante robot FANUC robot.

6. SICUREZZA DELLE POSTAZIONI DI LAVORO ROBOTIZZATE

Prima di mettere in funzione una postazione di lavoro robotizzata deve essere eseguita un'analisi dei rischi della postazione stessa. L'analisi dovrebbe comprendere l'individuazione di tutti i rischi connessi con il ciclo di vita della postazione di lavoro robotizzata in questione. Ciò significa che essa deve includere le seguenti fasi della vita di servizio: trasporto, montaggio ed installazione, messa in funzione, utilizzo (funzionamento e manutenzione), messa fuori servizio (smontaggio e smaltimento). Quando tutte le situazioni di pericolo sono state individuate, deve essere effettuata una stima dei rischi connessi con ognuna di esse. La base per la stima dei rischi è la determinazione di un possibile danno (infortunio) e la probabilità del suo accadimento. In caso di situazioni di pericolo con tasso di rischio elevato, devono essere adottate misure di protezione per ridurre il rischio. Le misure a livello costruttivo sono lo strumento principale per ridurre i rischi. Se queste non possono essere applicate, vengono adottate misure protettive di sicurezza (coperture, sensori di sicurezza, ecc). L'ultimo livello di riduzione dei rischi consiste nell'informare gli utenti tramite etichette di sicurezza posizionate sul robot e istruzioni per l'uso della postazione di lavoro robotizzata. L'utente deve essere informato sui rischi residui.

6.1. Termini e definizioni di base

danno - infortunio fisico o problema medico, danneggiamento di cose o di animali

pericolo - potenziale causa di danno (lesione)

zona di pericolo - qualsiasi spazio interno e / o che circonda un robot, in cui una persona può essere esposta a un pericolo

evento pericoloso - un evento che può causare un danno (infortunio)

situazione pericolosa – circostanze nelle quali una persona sia esposta ad almeno un pericolo

rischio - combinazione della probabilità che si verifichi un danno (incidente) e della gravità dello stesso

stima del rischio - determinazione della probabile gravità di un danno (incidente) e della probabilità che si verifichi

valutazione del rischio – valutazione del raggiungimento di determinati obiettivi relativi alla riduzione del rischio, effettuata sulla base di un'analisi dei rischi

accertamento dei rischi - un processo che comprende l'analisi e la valutazione dei rischi

rischio residuo – persistenti condizioni di rischio dopo che le misure di protezione sono state adottate

misura di protezione - una misura adottata al fine di ridurre il rischio

destinazione d'uso di un robot - uso di un robot in conformità alle indicazioni riportate nelle istruzioni per l'uso

uso improprio ragionevolmente prevedibile - uso di un robot in un modo non previsto dal costruttore, che può tuttavia risultare dovuto ad un comportamento umano facilmente ipotizzabile

robot, robot industriale - manipolatore riprogrammabile multifunzione, controllato automaticamente, programmabile secondo tre o più assi, che può essere rigido o mobile, destinato ad un uso in automazione industriale

end-effector - un dispositivo appositamente costruito per essere collegato ad una interfaccia meccanica, e che permette al robot di svolgere la sua funzione

sistema di robot, sistema di robot industriali - un sistema che comprende un robot, un end-effector (o più end-effector) e apparecchiature, dispositivi o sensori necessari al robot per svolgere la sua funzione

stop di protezione - un tipo di interruzione di attività che permette al robot di essere correttamente fermato per scopi preventivi (di protezione) e che assicura il corretto riavvio della logica del programma

spazio - lo spazio tridimensionale che comprende lo spostamento di tutte le parti del robot lungo i loro assi

spazio massimo - spazio che comprende le parti mobili del robot specificate dal fabbricante, l'end-effector ed il pezzo da lavorare

spazio limite - una parte dello spazio massimo limitato da barriere che non devono essere superate

spazio di manovra, spazio operativo - sottoinsieme dello spazio limite che è effettivamente descritto dal robot mentre opera secondo il programma utente

spazio salvaguardato - spazio che limita un circuito chiuso di dispositivi di sicurezza

componentistica di sicurezza di un sistema di controllo - parte del sistema di controllo (operativo), che reagisce ai segnali di sicurezza in ingresso e produce segnali di sicurezza in uscita

categoria - classificazione delle parti relative alla sicurezza di un sistema di controllo (operativo), con riferimento alla resistenza al guasto, e al loro comportamento in caso di guasto, ottenuto attraverso la progettazione strutturale delle parti, l'individuazione di un guasto e / o la loro affidabilità

funzione di sicurezza - una funzione della macchina, il cui malfunzionamento può portare ad un innalzamento immediato del rischio

arresto incontrollato - un arresto di un robot causato dall'interruzione dell'alimentazione elettrica alle parti di controllo del robot (dispositivi non-elettrici possono essere usati per fermare il robot, come ad esempio interruzioni meccaniche o idrauliche)

arresto controllato - un arresto del moto della macchina, durante il quale le parti di controllo continuano ad essere alimentate

operazione collaborativa - condizione in cui robot costruiti appositamente lavorano in collaborazione diretta con l'uomo all'interno di uno spazio di lavoro ristretto

6.2. Requisiti per la costruzione di robot

Intorno ai robot industriali vi è uno spazio detto di pericolo, in cui esiste un rischio di lesioni per l'operatore (per esempio causabili da un'attività automatica di un robot o di sue parti). Nella maggior parte dei casi, devono essere intraprese misure di sicurezza adeguate per impedire alle persone di entrare nello spazio. I paragrafi che seguono riguardano le tipologie di elementi di pericolo all'interno dei robot.

6.2.1. Componenti dell'unità di alimentazione

Tra tali componenti si possono contare, ad esempio, albero motore, trasmissione aperta, cinghia di trasmissione e altri tipi di ingranaggi. Rischi che possono essere causati da questi componenti devono essere impediti con contenitori di protezione rigidi o mobili. L'involucro mobile di protezione deve bloccare movimenti pericolosi, impedendoli prima che il pericolo possa nascere. In termini di caratteristiche di sicurezza, il sistema di blocco deve essere conforme alle prescrizioni di cui al sottocapitolo 5.3.

6.2.2. Interruzione o sbalzo della alimentazione elettrica

La costruzione e la progettazione di robot e di end-effector non può consentire alcuna interruzione o sbalzo di alimentazione elettrica, idraulica, pneumatica che possa provocare una situazione pericolosa. Sistemi meccanici indipendenti dall'alimentazione (ad esempio molle) devono essere impiegati per afferrare l'oggetto manipolato e, se possibile, l'alimentazione deve essere usata solo per rilasciare l'oggetto manipolato. Qualora ciò non sia possibile, il verificarsi di eventuali situazioni di pericolo deve essere evitato con altri mezzi

di protezione di sicurezza (blocco idraulico, accumulatori di energia, ecc.) Il ripristino dell'alimentazione non può portare ad un movimento automatico di un robot o del suo end-effector.

6.2.3. Alimentazione

L'equipaggiamento del robot deve permettere a ciascuno dei suoi sistemi di alimentazione potenzialmente pericolosi (es. elettrico, meccanico, idraulico, pneumatico, ecc) di poter essere scollegato, consentendo un blocco switch-out o qualsiasi altra forma di blocco di sicurezza.

6.2.4. Energia latente

L'operatore del robot (regolatore, addetto alla manutenzione) deve disporre di mezzi che permettano un rilascio controllato di energia latente. Ogni fonte di energia latente (ad esempio cilindri di stoccaggio di aria/fluido compresso, condensatori, batterie, molle, pesi di bilanciamento, volani) devono essere provvisti di una etichetta di sicurezza appropriata.

6.2.5. Compatibilità elettromagnetica (EMC)

La costruzione e la progettazione di robot devono essere conformi alle IEC 61000 per evitare movimenti pericolosi o situazioni di pericolo derivanti da segnali di disturbo causati da interferenze elettromagnetiche (EMI), interferenze radio (RFI) o da scariche elettrostatiche (ESD).

6.2.6. Equipaggiamento elettrico

La costruzione e la progettazione delle apparecchiature elettriche del robot devono essere conformi alle corrispondenti prescrizioni IEC 60204-1. La norma specifica i requisiti e le istruzioni per l'equipaggiamento elettrico delle macchine, con particolare attenzione alla sicurezza del personale e dei beni, la coerenza nelle caratteristiche di reazione al segnale di controllo e la facilità di manutenzione.

6.2.7. Elementi di controllo

Gli elementi di controllo devono essere progettati e costruiti in modo da impedire la manipolazione involontaria (con un interruttore con serratura a chiave o pulsanti schermati). Gli elementi di controllo devono essere facilmente leggibili e lo stato da essi indicato deve essere chiaramente visualizzabile (ad esempio alimentazione attiva, rivelazione di guasti, funzionamento automatico). Il sistema operativo del robot deve essere progettato e costruito in modo da garantire che, nel caso in cui il robot sia azionato da un dispositivo unico di programmazione (un pannello), la sua attivazione o il cambio di selezione del controllo locale da qualsiasi altra fonte (ad esempio un secondo pannello) siano impediti.

6.3. Requisiti per le parti relative alla sicurezza dei sistemi di controllo

Le proprietà del sistema di controllo della sicurezza dei robot sono stabilite in modo da soddisfare le categorie descritte in ISO 13849-1 (per la descrizione delle categorie vedi paragrafo 5.4). Questa norma elenca i requisiti di sicurezza e le istruzioni per i principi di costruzione e integrazione di componenti di sicurezza dei sistemi di controllo (SRP/CS), compreso un modello software. Per queste parti di SRP/CS, nella norma sono specificate le

caratteristiche che comprendono il livello delle proprietà necessarie per le funzioni di sicurezza da eseguire. La norma è valida per le parti relative alla sicurezza dei sistemi di controllo (SRP / CS) indipendentemente dal tipo di tecnologia e alimentazione (elettrica, idraulica, pneumatica, meccanica ecc) utilizzati in tutti i tipi di macchine.

Le parti relative alla sicurezza dei sistema di controllo del robot devono essere progettate per soddisfare i seguenti requisiti:

- un singolo guasto in una qualsiasi di queste parti non comporta la perdita della funzione di sicurezza;
- ogniqualevolta sia ragionevolmente possibile, un singolo guasto deve essere rilevato prima della successiva richiesta alla funzione di sicurezza;
- quando si verifica un guasto singolo, il comando di sicurezza deve essere sempre eseguito e la condizione di sicurezza deve essere mantenuta fino a quando il difetto riscontrato non è stato rimosso;
- tutti i guasti razionalmente prevedibili devono essere rilevati.

Tali requisiti sono conformi alle prescrizioni per la categoria 3 specificata nella norma ISO 13849-1. Tuttavia, il requisito per la rilevazione di un guasto singolo non assicura che tutti i guasti saranno rilevati. Di conseguenza, l'accumulo di errori non rilevati non può portare a segnali di ingresso indesiderati e dar luogo a una situazione di pericolo in tutto il robot. La connessione forzata dei contatti relè o il controllo di segnali elettrici in uscita può servire come esempio di misure concrete per il rilevamento di difetti. Sulla base dei risultati della valutazione dei rischi di un robot e del suo presunto utilizzo, è possibile rilevare che in una particolare applicazione potrebbero essere necessarie ulteriori caratteristiche del sistema di controllo della sicurezza del robot, non prescritte dalla norma relativa alla categoria 3, ma magari prescritte da quelle relative alle categorie 2 o 4.

6.3.1. Comando di arresto di emergenza

Ogni comando che consenta l'avvio del robot o l'inizio di qualsiasi altra situazione pericolosa deve essere fornito con l'opzione di controllo manuale della funzione di arresto di emergenza, quali:

- deve lavorare sia come arresto di categoria 0 sia di categoria 1 (la selezione della categoria di arresto di emergenza dipende dai risultati dell'accertamento dei rischi);
- deve essere superiore a tutte le altre funzioni e attività in tutti i regimi (massima priorità);
- attiva un arresto in caso di pericolo;
- disconnette la fornitura di energia a tutte le unità robot (arresto di categoria 0) o deve essere gestito in un modo che permetta di fermare il movimento pericoloso non appena possibile (categoria 1 stop) senza che si verifichino altri rischi;
- se viene utilizzato più di una unità di controllo, ordini efficaci di arresto di emergenza devono essere forniti da qualsiasi unità di controllo,
- deve rimuovere ogni altro pericolo derivante dal funzionamento del robot;
- deve rimanere attivo fino al momento in cui il ripristino avviene;
- il ripristino deve essere effettuato esclusivamente a mano e non può causare il riavvio del sistema, lo deve solo permettere.

6.3.2. Arresto di sicurezza

Il robot deve avere almeno un circuito di interruzione di sicurezza (categoria di arresto 0 o 1) assicurando il collegamento con dispositivi di protezione esterne, in cui:

- un arresto di categoria 0 rappresenta un arresto del robot in cui la fornitura di energia per controllare le parti del robot è immediatamente rimossa (il cosiddetto arresto incontrollato) e
- un arresto di categoria 1 rappresenta un arresto controllato del robot, qualora gli elementi di controllo del robot siano alimentati al fine di raggiungere l'arresto (dopo l'arresto, l'alimentazione viene rimossa).

All'attivazione del dispositivo esterno di protezione, il circuito di rottura di sicurezza deve avviare un arresto di tutti i movimenti del robot, una rimozione dell'alimentazione per tutte le unità robot ed evitare altre situazioni pericolose derivanti dal controllo del sistema robotico che possono presentarsi entro l'arresto. L'arresto può essere attivato manualmente o con l'aiuto della logica di controllo.

6.3.3. Velocità ridotta

Se l'operazione con velocità ridotta è pre-impostata, la velocità della flangia di fissaggio dell'end-effector e il punto di riferimento dell'oggetto manipolato non deve superare i 250 mm/s.

Un controllo sulla velocità ridotta deve essere costruito e realizzato in modo tale che in caso di qualsiasi difetto razionalmente prevedibile (funzione errata) questa velocità non venga superata.

6.3.4. Modalità di funzionamento

I modi di funzionamento (automatico e manuale) devono essere selezionati da dispositivi di sicurezza (ad esempio, un interruttore di modalità di funzionamento). Questi devono indicare la modalità di funzionamento selezionata senza ambiguità e non devono essere in grado di azionare il robot da soli o creare altre situazioni di pericolo.

Le **modalità automatica** è prevista esclusivamente per il funzionamento del robot sulla base del programma utente. Il controller del robot non può essere in modalità manuale e le misure di protezione devono essere attive. Al rilevamento di qualsiasi motivo per l'arresto, il lancio dell'operazione in modalità automatica è da evitare. Il comando per cambiare il modo automatico in una modalità diversa deve provocare l'arresto del funzionamento automatico.

La **modalità manuale** viene utilizzata nel movimento, istruzione, programmazione e verifica del programma del robot. Questa modalità può essere utilizzata nella manutenzione del robot. Con la modalità manuale è possibile muovere il robot sia in modalità velocità ridotta, oppure, durante l'incremento manuale della velocità. Il funzionamento del robot in modalità automatica non può essere attivato selezionando la modalità manuale.

6.3.5. Controllo tramite un teach-pendant

Nel caso in cui sia possibile usare un teach-pendant o un altro dispositivo di comando per il controllo del robot nella zona di sicurezza, tale dispositivo deve soddisfare i seguenti requisiti:

- Al momento dell'azionamento del robot con il teach-pendant o con un dispositivo di programmazione, deve essere utilizzato un controllo a velocità ridotta
- Se il teach-pendant offre la possibilità di selezionare velocità più elevate, esso deve permettere di: fermare l'operazione, settare la velocità dal valore iniziale di base al valore più alto programmato, indicare la velocità pre-selezionata (ad esempio

attraverso la visualizzazione dell'informazione di velocità sul display del teach-pendant).

- Dopo il rilascio di tutti i pulsanti e di altri dispositivi sul teach-pendant, per mezzo del quale è possibile azionare il robot, il movimento del robot deve fermarsi.
- I dispositivi di attivazione sul teach-pendant devono avere tre posizioni, e il loro rilascio o la pressione oltre la posizione centrale serve per prevenire i rischi (ad esempio il funzionamento del robot).
- I dispositivi di attivazione possono essere una parte del teach-pendant, oppure possono essere separati (ad esempio con dispositivi di attivazione a pressione controllata), e devono operare in modo indipendente da tutte le altre operazioni o funzioni di controllo del dispositivo;
- Se ci sono più interruttori su un dispositivo di attivazione, premendo completamente qualsiasi pulsante deve essere impedito il controllo con altri pulsanti, e causare un arresto di sicurezza;
- Se il controllo da vari dispositivi di attivazione indipendenti è abilitato (cioè nella zona di sicurezza ci sono più persone con dispositivi di attivazione), il funzionamento del robot è possibile solo nel caso in cui tutti i dispositivi hanno pre-impostata in quel momento la posizione centrale (attivazione);
- L'interruzione dei dispositivi di attivazione non deve portare ad un guasto che consenta l'attivazione del funzionamento del robot.
- Il teach-pendant o il dispositivo di programmazione devono avere la funzione di arresto di emergenza.
- Il teach-pendant non deve consentire l'attuazione del funzionamento automatico del robot. Prima dell'attivazione della modalità automatica, è necessaria una conferma indipendente dal lato esterno della zona di sicurezza.
- Se il teach-pendant permette il controllo di un gruppo di robot, si deve permettere il controllo del funzionamento di uno o più robot separatamente o contemporaneamente. Dopo il funzionamento in modalità manuale, tutte le funzioni del sistema robotico devono essere sotto il controllo di un unico teach-pendant.

6.3.6. Requisiti per la cooperazione operativa

I robot progettati per operare in scenari cooperativi devono:

- avere un'indicazione visiva che mostra che il robot è in modalità di cooperazione operativa;
- arrestarsi quando l'operatore si trova nella zona di lavoro sotto cooperazione operativa. Quando l'operatore lascia la zona del lavoro, il robot può tornare alla modalità di funzionamento automatico.
- Se viene effettuata una guida manuale del robot, il dispositivo manuale di guida deve essere localizzato vicino all'end-effector, e dotato di arresto di emergenza e dispositivi di attivazione. Il robot deve avere il funzionamento con velocità ridotta pre-impostata, e la velocità non può essere superiore a 250 mm/s.
- Un robot deve sempre mantenere la distanza dall'operatore. Questa distanza deve essere in conformità con la ISO 13855. Un fallimento a causa del mancato rispetto della distanza impostata deve provocare l'arresto di sicurezza.
- Il robot deve avere il funzionamento a velocità ridotta pre-impostata non superiore a 250 mm/s, e la sua posizione deve essere monitorata.
- La costruzione di un robot deve garantire sulla flangia o nel punto di riferimento dell'oggetto manipolato 80 W di funzionamento al massimo, o la forza massima di 150 N (determinata tramite la valutazione dei rischi). Al momento della progettazione del robot si deve garantire costruttivamente (o per mezzo del suo sistema di controllo) che questi valori non vengano superati.

6.4. Descrizione delle categorie delle parti relative alla sicurezza dei sistemi di controllo

6.4.1. Categoria B

La categoria B è quella di base tra le categorie di sicurezza definite dalle normative e dai regolamenti. Le parti di sicurezza del sistema di controllo devono essere progettate, costruite, selezionate, assemblate e connesse in modo da rispettare le normative in essere e, nel caso siano applicate le normative di sicurezza per usi specifici, in modo da resistere a:

- Sforzi di esercizio attesi (ad esempio frequenza di commutazione);
- Contatto con i materiali utilizzati in lavorazione (per esempio vernice);
- Altri effetti esterni rilevanti (ad esempio vibrazioni meccaniche o guasti di alimentazione).

I sistemi di Categoria B non sono dotati di alcuna copertura diagnostica, per cui il verificarsi di un guasto può causare la perdita della loro funzione di sicurezza.

La fig. 6-1 mostra un tipico esempio di circuito di categoria B, dove il controllo del motore START/STOP è stato progettato come un normale pulsante di START e un tasto STOP chiudibile a chiave clip-on.

In caso di STOP, il motore può essere avviato utilizzando il pulsante di avvio tramite l'interruttore R, e l'avvio del motore è assicurato mediante il contatto ausiliario dell'interruttore R anche dopo che il tasto di avvio è stato rilasciato.

L'arresto può essere eseguito premendo il pulsante E-STOP. Tuttavia, in caso di guasto, ad esempio in caso di condensa dei contatti dell'interruttore R, il movimento pericoloso non sarà fermato.

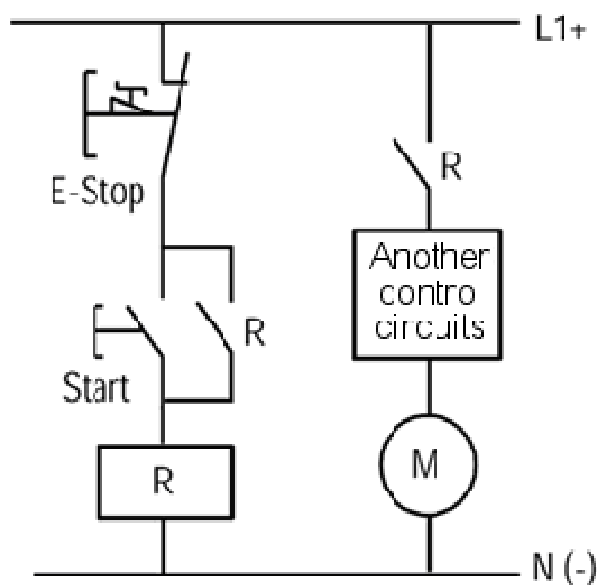


Fig. 6-1 Esempio di una soluzione tecnica di categoria B

6.4.2. Categoria 1

è una categoria con una migliore resistenza ai guasti, conseguita principalmente attraverso la selezione e l'uso dei componenti. Per questa categoria si applicano gli stessi requisiti della categoria B. Inoltre, i componenti di sicurezza di un sistema di controllo di categoria 1 devono essere progettati e realizzati con particolari affidabili e secondo principi di sicurezza collaudati.

Per essere considerato affidabile, un componente deve rispettare uno dei seguenti requisiti:

- È stato ampiamente utilizzato in passato in casi analoghi, con risultati soddisfacenti

-È stato costruito e certificato in base a principi che ne assicurano l'idoneità e l'affidabilità ai fini della sicurezza.

L'architettura stabilita per la categoria 1 è la stessa della categoria B. Anche in un sistema di categoria 1 non vi è copertura diagnostica, per cui il verificarsi di un guasto può comportare la perdita della funzione di sicurezza.

A titolo di esempio, questa categoria può essere definita da un sistema di elaborazione, come mostrato in fig. 6-2.

A questa categoria appartengono, ad esempio, gli interruttori di posizione per un utilizzo sicuro.

Oltre ai principi ben sperimentati, possiamo citare, tra gli altri, i seguenti:

- rilascio forzato - ad esempio dove i contatti sono collegati per mezzo di un accoppiamento fisso con camera di controllo - vedi fig. 6-3
- controllo positivo
- guida positiva

Come esempio può servire il circuito di fig. 6 2b, dove la connessione di elementi di controllo praticamente non si differenzia dalla categoria B, con l'eccezione della spia di controllo, che rileva lo stato del motore (se il motore è in funzione o meno) e li segnala all'operatore.

L'architettura stabilita per la categoria 1 è la stessa della categoria B. Anche in un sistema di categoria 1 non vi è copertura diagnostica, per cui il verificarsi di un guasto può comportare la perdita della funzione di sicurezza.

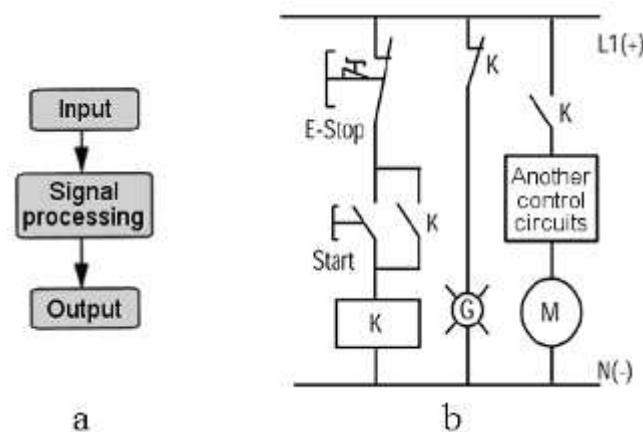


Fig. 6-2 Schema a blocchi ed esempio di una soluzione tecnica di categoria 1

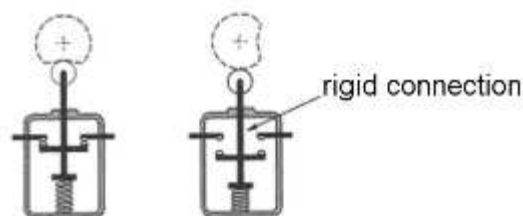


Fig. 6-3 Liberazione forzata dei contatti

6.4.3. Categoria 2

È una categoria con una migliorata struttura dei componenti di sicurezza del sistema di controllo, che include una funzione di controllo periodico. Questa categoria è anche conforme ai requisiti della categoria B e della categoria 1. Il controllo periodico può essere automatico e deve: consentire il funzionamento quando non sono stati rilevati errori; generare un segnale di output che avvia una opportuna procedura di controllo quando viene rilevato un errore. L'output deve innanzitutto avviare la modalità di sicurezza. Se ciò non è possibile si deve almeno dare un segnale di pericolo.

Il controllo dovrebbe essere eseguito o al momento di avvio della macchina, o prima dell'inizio di una situazione pericolosa.

A titolo di esempio, questa categoria può essere definita da uno schema di elaborazione, come mostrato in fig. 6-4a, dove la differenza con le precedenti categorie è chiaramente rappresentata dall'elemento di test periodico (ciclico).

Come esempio può servire il circuito di fig. 6-4b, dove il tasto di avvio assicura una doppia funzione, vale a dire la funzione START nel caso in cui il pulsante viene premuto e rilasciato, o la funzione di TEST, nel caso in cui il tasto venga mantenuto. Quando la funzione di TEST è in esecuzione, il motore di uscita è ancora in stato di riposo e comincia solo dal rilascio del pulsante.

Maggiore sicurezza di questo circuito è garantita dal collegamento in serie di due contatti di scambio.

In un sistema di categoria 2, ci deve essere una copertura diagnostica media di tutte le parti di sicurezza del sistema di controllo, tra cui l'individuazione di guasti, a basso livello. Il tempo fra i guasti di singoli canali del circuito deve essere da breve a lungo.

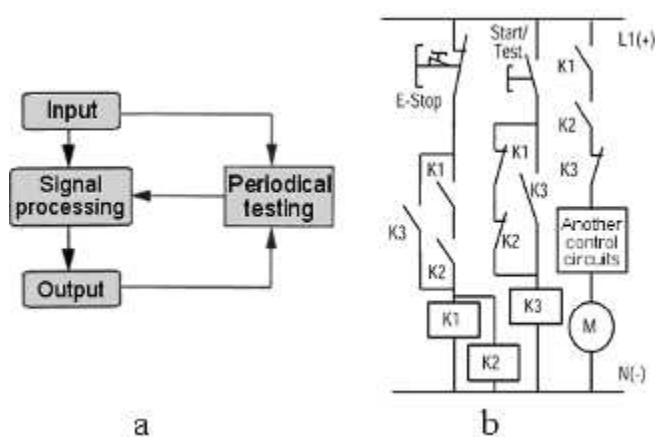


Fig. 6-4 Schema a blocchi ed esempio di una soluzione tecnica di categoria 2

6.4.4. Categoria 3

Questa categoria è, nel suo principio, basata sulla combinazione della categoria B e della categoria 1. Tuttavia, deve anche soddisfare i requisiti sugli elementi di controllo, in modo che un fallimento nel controllo possa essere individuato prima che possa causare disturbo alla funzione di sicurezza.

Ancora una volta, come esempio, questa categoria può essere definita da uno schema di elaborazione come mostrato in fig. 6-5b.

Come esempio può servire il circuito di fig. 6-5b, dove è presente la connessione di due circuiti indipendenti con una connessione ridondante (doppia) per entrambi i tasti di START e STOP. In caso di guasto in uno dei circuiti, l'unità è controllata tramite collegamento seriale di due contatti di scambio nella parte di alimentazione.

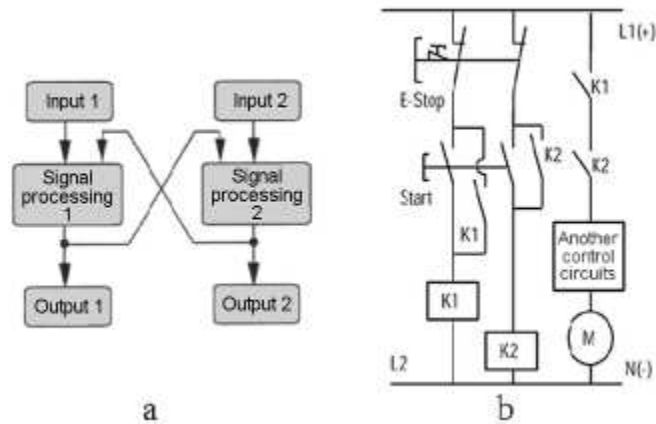


Fig. 6-5 Schema a blocchi e esempio di una soluzione tecnica di categoria 3

6.4.5. Categoria 4

Ancora una volta, questa categoria è, nel suo principio, basata sulla combinazione di categoria B e di categoria 1. Tuttavia, deve anche rispettare i requisiti sugli elementi di controllo, in modo che un guasto nel controllo possa essere rilevato prima che possa provocare disturbi nella funzione di sicurezza, ma, a differenza della categoria 3 in caso di guasti multipli non rilevati, non può verificarsi una perdita della funzione di sicurezza del sistema.

A titolo di esempio, questa categoria può essere definita da un sistema di elaborazione come mostrato in fig. 6-6a, in cui si vede il principio di raddoppio più frequentemente utilizzato con la coesione reciproca dei rami di controllo individuale con ulteriori comunicazioni tra i rami indipendenti.

Come esempio può servire il circuito di fig. 6-6b, con il collegamento di due circuiti di controllo indipendenti con una connessione ridondante (doppia) sia per il tasto START che per il tasto di STOP. In caso di guasto in uno dei circuiti, l'unità è controllata tramite collegamento in serie di due contatti di scambio, nella parte di alimentazione. Fino a questo punto, il circuito è simile a quello per la categoria 3. Tuttavia, la differenza è che, se si verificano guasti multipli, per esempio in caso di condensa dei contatti di alimentazione K1 e K2, la funzione di sicurezza è comunque garantita e il movimento non può essere riavviato.

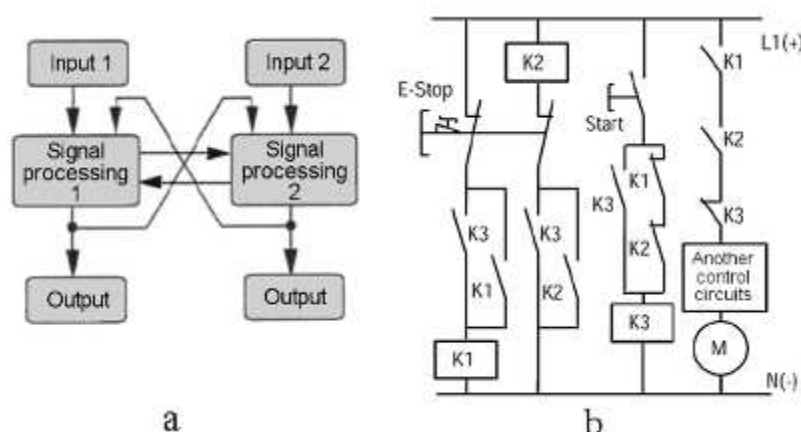


Fig. 6-6 Schema a blocchi e esempio di una soluzione tecnica di categoria 4

6.5. Dispositivi di sicurezza protettivi

6.5.1. Dispositivo di arresto di emergenza

La EN ISO 13850 stabilisce i requisiti per i dispositivi di arresto di emergenza. La presente norma internazionale specifica i requisiti funzionali e principi di costruzione per la funzione di arresto di emergenza delle macchine, indipendentemente dal tipo di energia utilizzata per la funzione di controllo. A questo scopo, un dispositivo di comando azionato manualmente ed utilizzato per l'avvio delle funzioni di arresto di emergenza, deve essere considerato un dispositivo di arresto d'emergenza. Esso può avere la forma di un pulsante a fungo, un filo, una corda, una barra, una leva o un interruttore a pedale, e deve essere situato in ogni luogo di controllo dell'operatore. L'interruttore di arresto di emergenza deve avere un pulsante rosso con uno sfondo giallo. Questo dispositivo deve lavorare sul principio dello stop forzato diretto con fissaggio meccanico mediante chiusura.



Fig. 6-7 Visualizzazione dei pulsanti di Stop di emergenza

6.5.2. Barriere fotoelettriche di sicurezza

I requisiti per il posizionamento di questo dispositivo di protezione sono specificati nella norma EN 999. Con l'aiuto di una barriera di sicurezza, un "recinto di luce" viene creato intorno alla zona pericolosa per controllare l'ingresso nello spazio. Barriere fotoelettriche di sicurezza consentono l'ingresso libero nello spazio salvaguardato, ma quando il raggio viene interrotto, i movimenti pericolosi devono essere fermati.

Sono installati ad una cosiddetta distanza di sicurezza - S, che è la distanza minima dal campo di rilevamento della barriera fotoelettrica alla zona di pericolo.

$$S = (K \times T) + C$$

Dove:

K – velocità di avvicinamento del corpo dell'operatore (parte del corpo). Per il corpo dell'operatore si applica: $K=1600\text{mm/s}$.

T – tempo necessario per fermare movimenti pericolosi

C – la distanza complementare rispetto all'intrusione in direzione della zona di pericolo senza interruzione del raggio della barriera. Per un braccio teso, si applica $C=850$ millimetri. Questa grandezza fa sì che la zona di pericolo non può essere raggiunta attraverso i raggi della barriera.

Se il numero di raggi di luce emessi è inferiore a sei, generalmente si parla di cosiddette barre ottiche di sicurezza - fig. 6-8.

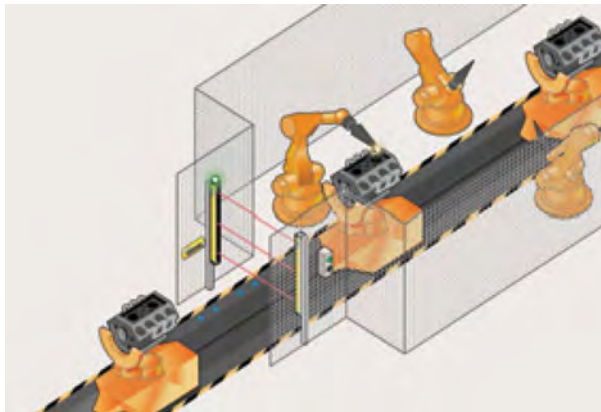


Fig. 6-8 Barriera fotoelettrica di sicurezza SICK

Le barre di sicurezza con un unico fascio trasmesso rappresentano un caso estremo. A causa della loro semplicità e del basso prezzo, sono spesso utilizzate per alcune applicazioni meno complesse. Nel caso di queste semplici barriere di luce di sicurezza, il trasmettitore e il ricevitore possono essere alloggiati in una scatola (cosiddette barriere ottiche riflettenti - fig. 6-9). Uno specchio posto sul lato opposto riflette il fascio di ritorno al trasmettitore. L'oggetto rilevato interrompe il fascio riflesso e provoca un cambiamento nel segnale di uscita. Il trasmettitore e il ricevitore operano con una lente comune. La luce trasmessa passa attraverso lo specchio di divisione e la lente fino al vetro riflettente. Lo specchio riflette la luce trasmessa di nuovo alla lente.

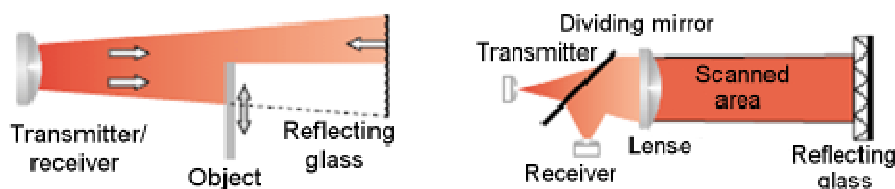


Fig. 6-9 Barriera ottica riflettente

Un'altra opzione è posizionare il trasmettitore e il ricevitore su lati opposti (le cosiddette barriere fotoelettriche a una via) - fig. 6-10. L'oggetto interrompe il raggio e fa scattare il trasmettitore, indipendentemente dalla proprietà della sua superficie.

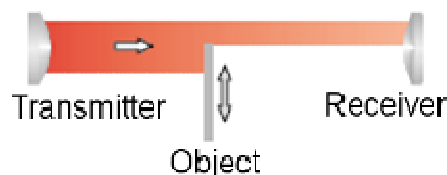


Fig. 6-10 Barriere fotoelettriche a una via

Nelle barriere fotoelettriche multi-raggio, il passo, cioè la distanza tra i raggi limitrofi, definisce la capacità di risoluzione della barriera di sicurezza e la sua efficacia. Più piccolo è il passo dei raggi, più piccolo è l'oggetto intruso che può essere rilevato dalla barriera. La

risoluzione della barriera deve corrispondere al livello di protezione desiderato. Se, per esempio, deve essere prevenuta l'intrusione del dito dell'operatore nello spazio tutelato, deve essere utilizzata una barriera di luce con una risoluzione di 14 o 20 mm. Una risoluzione di 30 o 50 mm è sufficiente per proteggere le mani dell'operatore, mentre una risoluzione maggiore di 100 mm è sufficiente per controllare l'accesso delle persone in spazi salvaguardati.



Fig. 6-11 Esempio di barriere fotoelettriche di sicurezza in uso

6.5.3. Laser scanner di sicurezza

A differenza delle barriere fotoelettriche di sicurezza, gli scanner laser di sicurezza sono utilizzati per il rilevamento della presenza dell'operatore nello spazio controllato. Essi sono di solito situati a 300 millimetri dal suolo.



Fig. 6-12 Laser scanner

Gli scanner laser operano sul principio del fascio infrarossi pulsante. Il fascio emesso da un fotodiodo passa attraverso il sistema ottico e finisce sullo specchio rotante, che causa la sua deformazione, creando una zona di rilevamento salvaguardata nella forma di settore circolare.

Siccome il raggio attraversa lo spazio, esso viene riflesso dalla persona o gli oggetti presenti nello spazio controllato. I raggi riflessi vengono rilevati ed elaborati dallo scanner.

La fig. 6-13 mostra due applicazioni di uno scanner laser SICK. Nella fig. 6 13 si può vedere uno scanner in uso, programmato per due spazi controllati. Nel caso in cui l'operatore entra

nel primo spazio controllato, è avvertito dallo scanner circa la sua presenza nello spazio di controllo. Qualora l'operatore, nonostante ciò, entri nel secondo spazio controllato, il robot verrà arrestato. La fig. 6-13b mostra uno scanner in uso, programmato per due spazi di controllo, che possono essere controllati a turno, a seconda del programma selezionato.

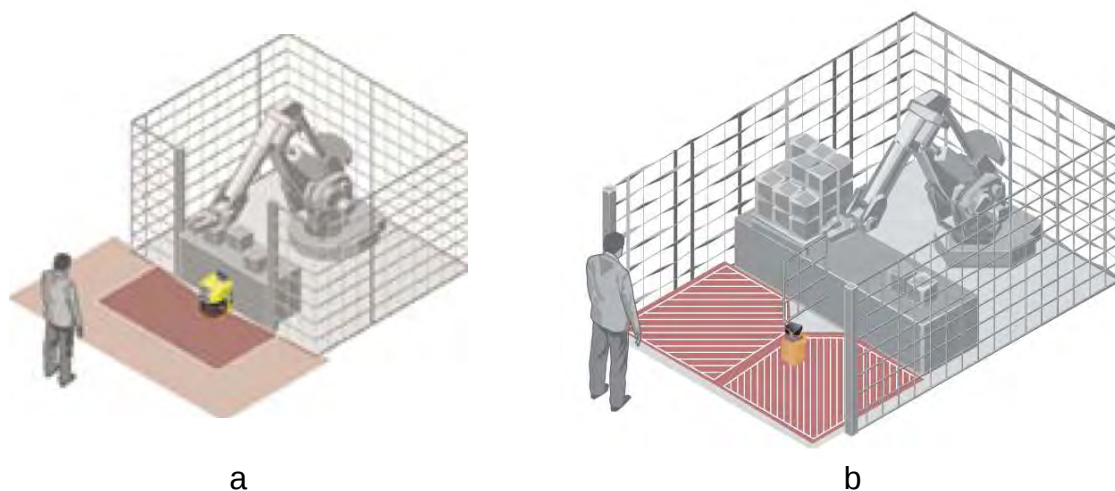


Fig. 6-13 Applicazioni di uno scanner laser

6.5.4. Barriere solide

Le barriere solide sono spesso impiegate nel processo di salvaguardia di uno spazio di pericolo. Se lo spazio di pericolo può essere raggiunto attraverso queste barriere (barre, recinti), la distanza di queste dalla spazio di pericolo deve essere tale da impedire agli arti superiori ed inferiori di scavalcare o attraversare le barriere. I valori delle distanze di sicurezza necessarie per evitare che gli spazi di pericolo vengano raggiunti sono indicati nella norma EN ISO 13857.



Fig. 6-14 Esempi di portata degli arti sopra o attraverso la barriera

6.5.5. Sensori di sicurezza per le porte

Se vengono usate barriere solide per salvaguardare una zona di pericolo, possono essere inserite solo attraverso punti di accesso designati.

Questi ingressi o porte sono dotati di sensori di sicurezza che forniscono segnali al sistema operativo nel caso in cui lo spazio venga invaso. Dopo l'apertura (ad esempio la porta), l'interruttore di sicurezza è disinserito, il che provoca l'arresto dei movimenti pericolosi.



Fig. 6-15 Serrature di sicurezza SICK

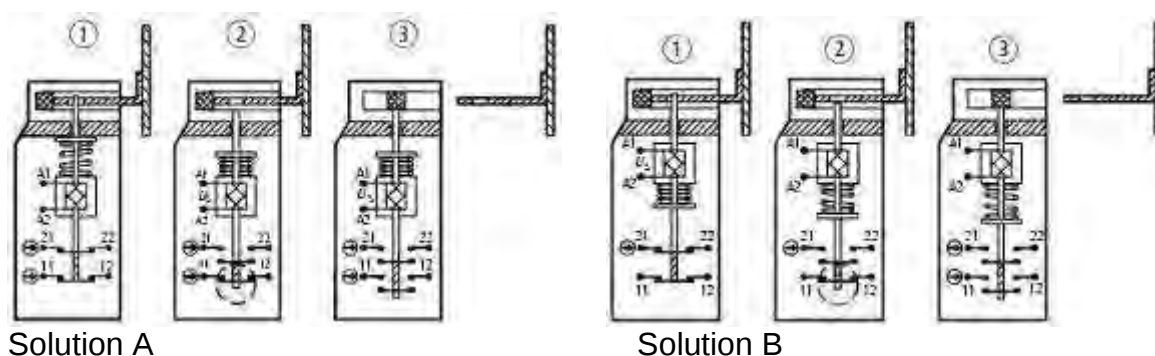


Fig. 6-16 Principio di funzionamento di serrature di sicurezza con dispositivo di chiusura e di lock-out

In posizione 1, la porta in fig. 6-16 è bloccata. Mentre la soluzione A garantisce che i contatti di rilascio (21-22) rimangano bloccati e la porta chiusa in caso di mancanza di alimentazione, la soluzione B permette alla porta di essere aperta in caso di interruzione di corrente.

In posizione 2, se è applicata la soluzione A allora la tensione viene trasmessa alla bobina (A1, A2), mentre in caso di soluzione B, l'alimentazione viene scollegata dalla bobina, che causa la disattivazione dei contatti di rilascio (21-22) e lo sblocco della porta.

La posizione 3 mostra l'apertura della porta, quando i contatti di posizione della porta (11-12), che avviano il blocco degli attuatori sono scollegati.

6.5.6. Tappeti di sicurezza

Servono per la messa in sicurezza di zone più grandi intorno a zone di pericolo. Quando un tappeto è calpestato, tutti i movimenti pericolosi devono essere fermati.

Un tappeto è composto da due piastre a contatto che sono normalmente tenute a distanza. A causa del peso dell'operatore, quando il tappeto viene calpestato avviene il contatto tra le piastre 1 e 2 che a sua volta aziona il comando necessario per fermare i movimenti pericolosi.

Per evitare che l'operatore scivoli, il piano di contatto superiore è di solito provvisto di uno strato protettivo con rivestimento antiscivolo.

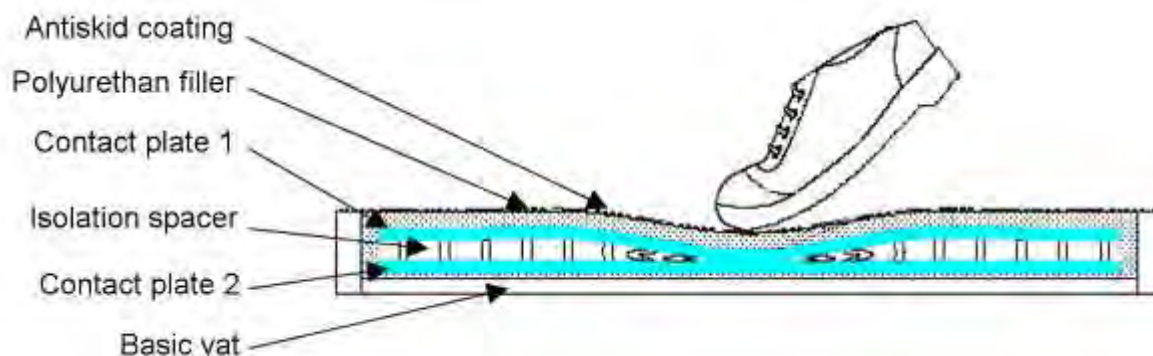


Fig. 6-17 Sezione trasversale di un tappeto di sicurezza

6.6. Esempio di protezione di una postazione di lavoro robotizzata

La fig. 6-18 mostra un esempio di combinazione di elementi di sicurezza in una cella di lavoro robotizzata. I teach-pendent sono posizionati ad ogni ingresso con un dispositivo di arresto di emergenza. Lo spazio intorno a ciascuna tavola rotante è sorvegliato da una cortina ottica multi-raggio e la porta d'ingresso tramite una serratura di sicurezza. Lo spazio restante è circondato da una barriera solida. Il secondo spazio è protetto su tre lati da una barriera solida, mentre l'intero spazio interno è controllato da uno scanner laser.

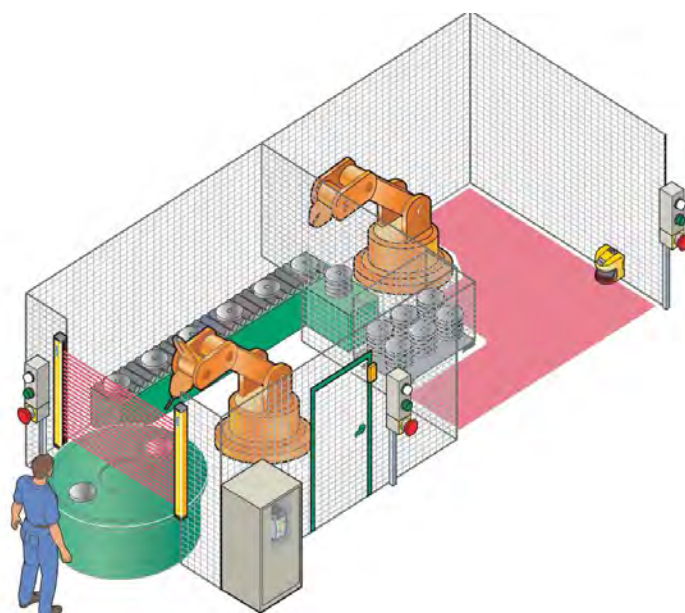


Fig. 6-18 Esempio di protezione di una postazione di lavoro robotizzata

Bibliografia:

- [1] BELJANIN, P.N.: Promyšlennyye roboty. Mašinostrojenie, Moskva, Rusko, 1975
- [2] HAVEL, I.M.: Robotika. Úvod do teorie kognitivních robotů. SNTL, Praha, 1980
- [3] MATIČKA, R.- TALÁČKO, J.: Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů. SNTL Praha, 1991
- [4] NODA, K.: Posobije po primeněniu promyšlennych robotov. Mir, Moskva, Rusko, 1975 (translated from Japanese)

MECCATRONICA

Modulo 10: Robotica

Esercizi

(concetto)

Petr Blecha
Zdeněk Kolíbal
Radek Knoflíček
Ales Pochylý
Tomas Kubela
Radim Blecha
Tomas Brezina

Università Tecnica di Brno,
Cechia



Concetto europeo per la Formazione Continua in Meccatronica di personale esperto nella produzione industriale globalizzata

Progetto UE no. 2005-146319 „Minos“, durata dal 2005 al 2007

Progetto UE no. DE/08/LLP-LdV/TOI/147110 „MINOS⁺⁺“, durata dal 2008 al 2010

Il presente progetto è finanziato con il sostegno della Commissione europea. L'autore è il solo responsabile di questa pubblicazione (comunicazione) e la Commissione declina ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute.

www.minos-mechatronic.eu



DG Istruzione e cultura

Programma di apprendimento
permanente

1. Domanda: Descrivi i metodi di programmazione dei robot

Programmazione dei robot "On-line" –

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

Programmazione dei robot "Off-line" –

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary school handwriting practice paper. The lines are evenly spaced and run across the entire width of the page. There are no margins, text, or other markings present.

3. Domanda: Sulla base del seguente schema, specifica il diametro richiesto dall'attuatore lineare a fluido che comanda la pinza



4. Domanda: Descrivi e fornisci degli schemi per le diverse tipologie di coppie cinematiche utilizzate nella costruzione di robot industriali e manipolatori

.....

.....

.....

.....

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines, typical of primary school writing paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

5. Domanda: A cosa servono i dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD) per i robot industriali e per i manipolatori?

.....

.....

.....

.....

- 6. Domanda: Che funzione svolgono i dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD)?**

[illegible]

7. **Domanda: Quali sono i vantaggi nell'uso di dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD) in una postazione tecnologica robotizzata (Robotized Technological Workplace - RTW)?**

.....

.....

.....

8. **Domanda: Quali sono le soluzioni costruttive e la relativa classificazione dei dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD)?**

.....

.....

.....

.....

9. **Domanda: Quali caratteristiche funzionali devono avere i dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD)?**

-
- a)
-
- b)
-
- c)
-

10. **Domanda: Come possono essere classificati i dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD) in relazione alle loro caratteristiche costruttive di base?**

.....

.....

.....

11. **Domanda: Come possono essere classificati i dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD) in relazione al modo in cui realizzano lo spostamento di un oggetto ovvero, più precisamente, del suo centro di massa?**

.....

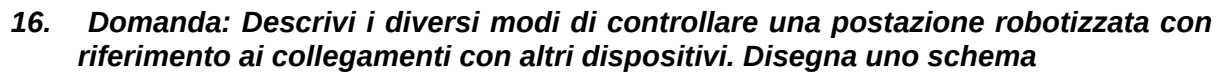
.....

.....

.....

.....

.....

[illegible]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

17. Domanda: Quali sono gli elementi più importanti di una postazione robotizzata per la saldatura ad arco?

Elementi di base:

.....

.....

.....

Elementi supplementari:

.....

.....

.....

.....

18. Domanda: Quali sono gli elementi indispensabili di una postazione robotizzata per la saldatura a punti?

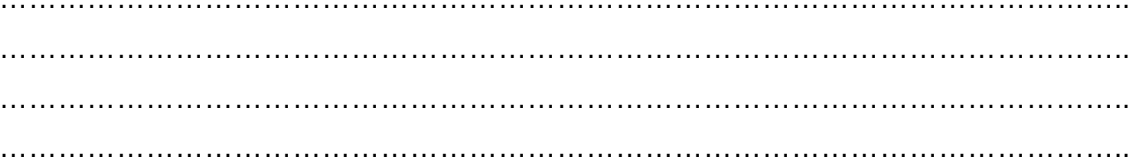
.....

.....

.....

19. Domanda: Quale tipologia di robot industriale è più spesso utilizzata per semplici operazioni di manipolazione, come la pallettizzazione? Descrivi la sua struttura e spiega la sua importanza.

.....



.....

.....

.....

.....

[illegible]

22. Domanda: Descrivi le tipologie di postazioni di verniciatura in termini di tecnologia impiegata.

Verniciatura con pitture liquide, diluibili solo in solventi speciali –

.....

Verniciatura con pittura in polvere –

.....

.....

23. Domanda: Descrivi una postazione robotizzata progettata per la verniciatura.

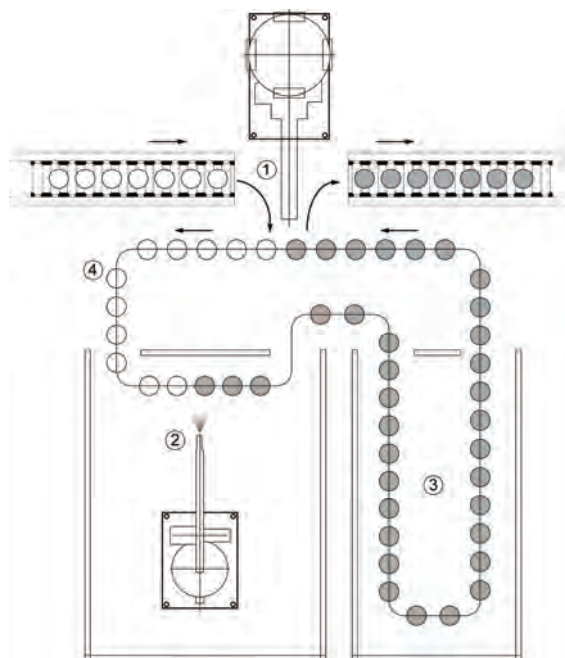
(1).....

.....

(2)

(3)

(4)



24. Domanda: Descrivi le postazioni progettate per operazioni tecnologiche come lo stampaggio ed il taglio.

Postazioni di stampaggio

.....
.....
Postazione di taglio

Postazione di rettifica

25. Domanda: Descrivi una postazione robotizzata progettata per l'incollaggio

.....
.....
.....
.....

26. Compito di manipolazione e misura

Compito:

Un robot industriale afferra continuamente componenti - alberi - dal deposito alberi e li colloca in un sistema automatico di misura, in cui viene determinata la lunghezza degli stessi. Il robot invia al sistema di controllo della stazione di misura un segnale di avvio misurazione (al tempo stesso, questo segnale indica il corretto posizionamento del componente nel sistema di misura). La procedura di misurazione richiede circa 2s. A questo punto, un segnale informa il sistema di controllo del robot che l'operazione di misura è conclusa e che il robot può rimuovere il componente (il componente viene rilasciato per essere rimosso). La lunghezza degli alberi può variare come segue: 120 mm (Alberi di tipo 1 – Shaft 1), 140 mm (Alberi di tipo 2 – Shaft 2), 152 mm (Alberi di tipo 3 – Shaft 3). Naturalmente, ci possono essere pezzi difettosi (Scrap). Questi sono etichettati come rottami. In funzione del risultato della misurazione, il robot colloca il componente nell'apposito contenitore (Shaft 1, Shaft 2, Shaft 3 oppure Scrap). Il programma del robot dovrebbe iniziare con la verifica di inizio/fine produzione.

Basandoti sulle tue conoscenze (con particolare riferimento all'esempio nel capitolo 4.2.7), svolgi i seguenti esercizi:

- Disegna uno schema concettuale della postazione (in 2D o 3D),
- Definisci gli input e gli output necessari,
- Definisci le procedure operative del robot,
- Definisci i punti operativi del robot,
- Disegna un diagramma di flusso per il compito assegnato,
- Sviluppa un programma per il compito assegnato (sintassi ABB Rapid).

Soluzione:

- **Inputs:**

.....
.....

- **Outputs:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- **Procedure operative del robot:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- **Punti operativi del robot:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- **Schema postazione:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

[illegible]

- **Diagramma di flusso:**

[illegible]

[illegible]

- **Esempio di programma:**

Dichiarazione dati

[illegible]

Subroutines con istruzioni

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary school handwriting practice paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines, typical of primary school writing paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Routine principale con istruzioni e chiamate alle subroutine

[illegible]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

27. Domanda: Elenca e descrivi le categorie di componenti di un sistema di controllo legati alla sicurezza

.....

.....

.....

.....

Categoria B -

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Categoria 1 –

.....

.....

.....

.....

[illegible][illegible]

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Categoria 4 –

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

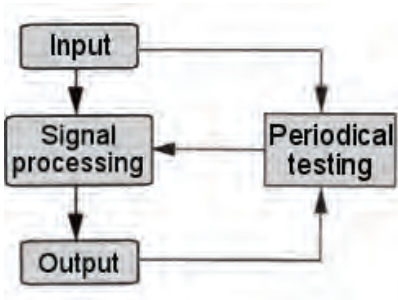
.....

.....

.....

.....

28. Domanda: *A quale categoria corrisponde l'architettura mostrata in figura?*



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

29. **Domanda:** *Se una postazione robotizzata è messa in sicurezza per mezzo di barriere fisiche e di un numero sufficiente di sensori di sicurezza per tutti i possibili ingressi, essa deve essere comunque dotata di un pulsante di arresto di sicurezza?*

.....

.....

30. **Domanda:** *A che distanza di sicurezza S dall'area di pericolo deve essere posizionata una barriera fotoelettrica, se il tempo necessario per arrestare i movimenti pericolosi è $T=0,5s$?*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

31. **Domanda:** *Che colore deve essere usato per il pulsante di arresto di emergenza e per il suo sfondo?*

.....

32. **Domanda:** *Spiega il significato di "linea luminosa di sicurezza"*

.....

.....

.....

.....

33. **Domanda:** *Spiega il significato di "barriera fotoelettrica a senso unico"*

.....

.....

.....

.....

34. **Domanda:** Qual è la massima risoluzione richiesta alle barriere fotoelettriche per prevenire l'intrusione delle dita dell'operatore all'interno dell'area protetta?

.....

.....

.....

35. **Domanda:** Qual è la massima risoluzione richiesta alle barriere fotoelettriche per prevenire l'intrusione delle mani dell'operatore all'interno dell'area protetta?

.....

.....

.....

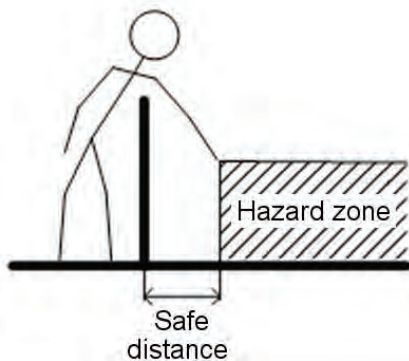
36. **Domanda:** Qual è la massima risoluzione richiesta alle barriere fotoelettriche per prevenire l'accesso di persone all'interno dell'area protetta?

.....

.....

.....

37. **Domanda:** Qual è la distanza minima dalla zona di pericolo alla quale deve essere posta una barriera fisica, se la stessa zona può essere parzialmente raggiunta al di sopra della barriera (vedi figura)? L'altezza della barriera è di 1000mm e l'altezza dello spazio di pericolo è di 1000mm.



.....

.....

.....

.....

.....

38. Domanda: Qual è la distanza minima dalla zona di pericolo alla quale deve essere posta una barriera fisica, se la stessa zona può essere parzialmente raggiunta attraverso la barriera (vedi figura)? L'altezza della barriera è di 1000mm e l'altezza della zona di pericolo è di 1000mm.



.....

.....

.....

.....

.....

39. Domanda: Qual è la distanza minima dalla zona di pericolo alla quale deve essere posta una barriera fisica, se la stessa zona può essere raggiunta attraverso la barriera mediante gli arti inferiori (vedi figura)? L'altezza dell'infrastruttura di sicurezza è di 450mm.



.....

.....

.....

.....

.....

40. Domanda: Elenca i requisiti di sicurezza dei componenti destinati alla trasmissione di potenza.

.....

.....

.....

.....

.....

41. Domanda: Elenca i requisiti di sicurezza della Funzione arresto di emergenza.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

42. Domanda: Elenca le prescrizioni di sicurezza per la Velocità ridotta.

.....

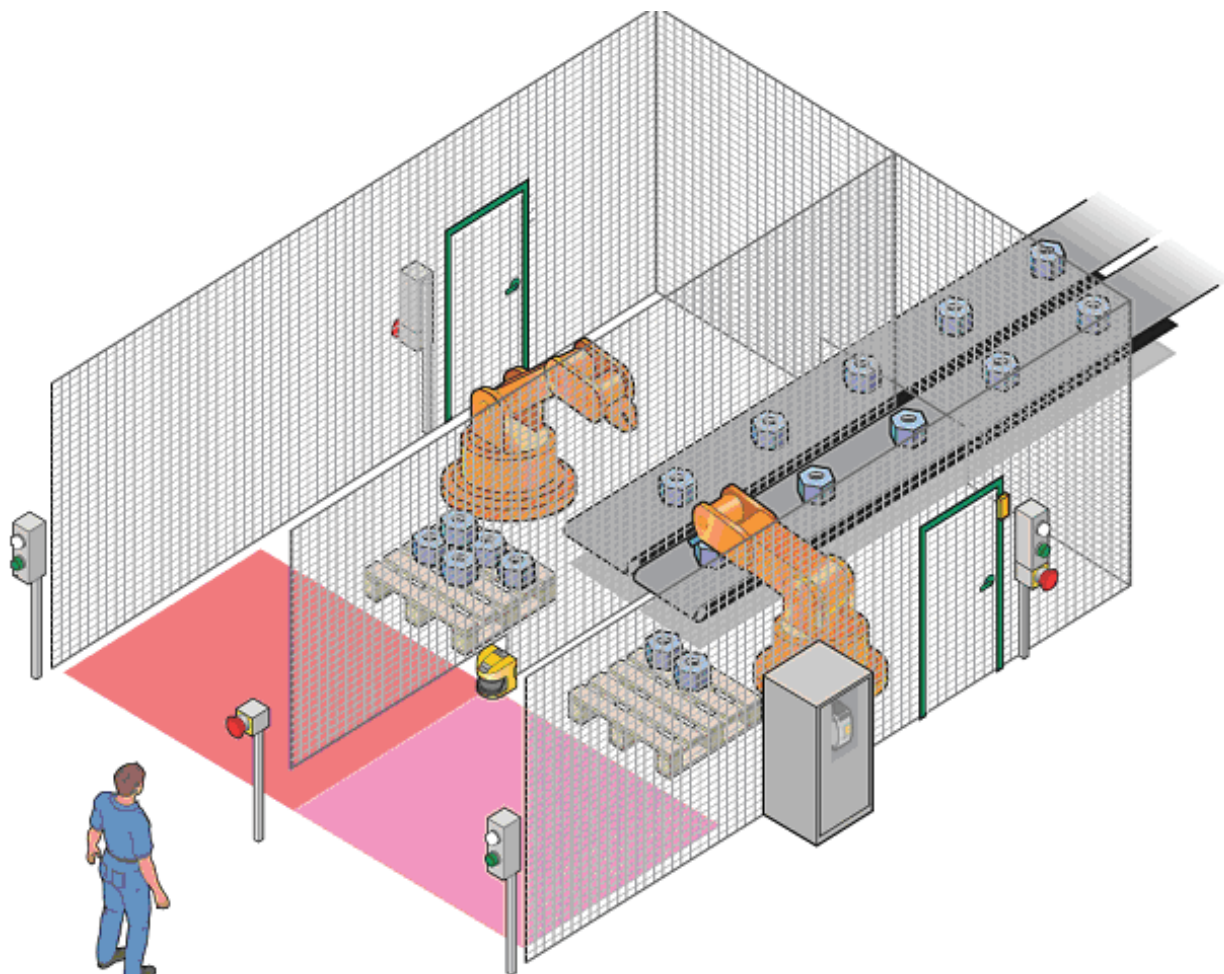
.....

.....

.....

.....

43. Domanda: La postazione robotizzata mostrata in figura è adeguatamente protetta? In caso contrario, quali cambiamenti dovrebbero essere posti in essere per garantire la massima protezione?



.....

.....

.....

.....

.....

.....

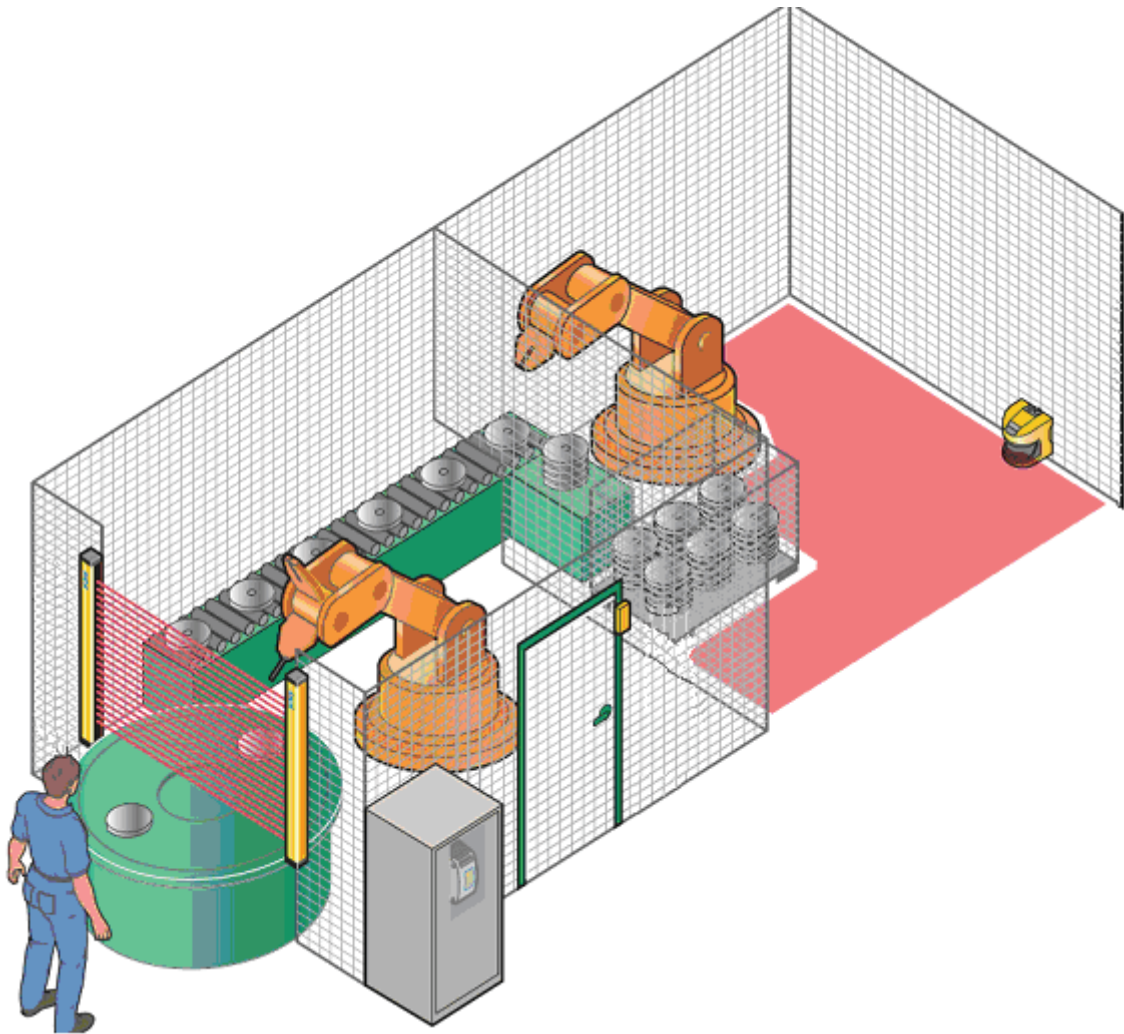
.....

.....

.....

.....

44. Domanda: Di cosa deve essere ulteriormente dotata la postazione robotizzata in figura per essere conforme alle norme di sicurezza?



.....

.....

.....

.....

.....

45. Domanda: Elenca le prescrizioni di sicurezza relativamente all’Alimentazione.

.....

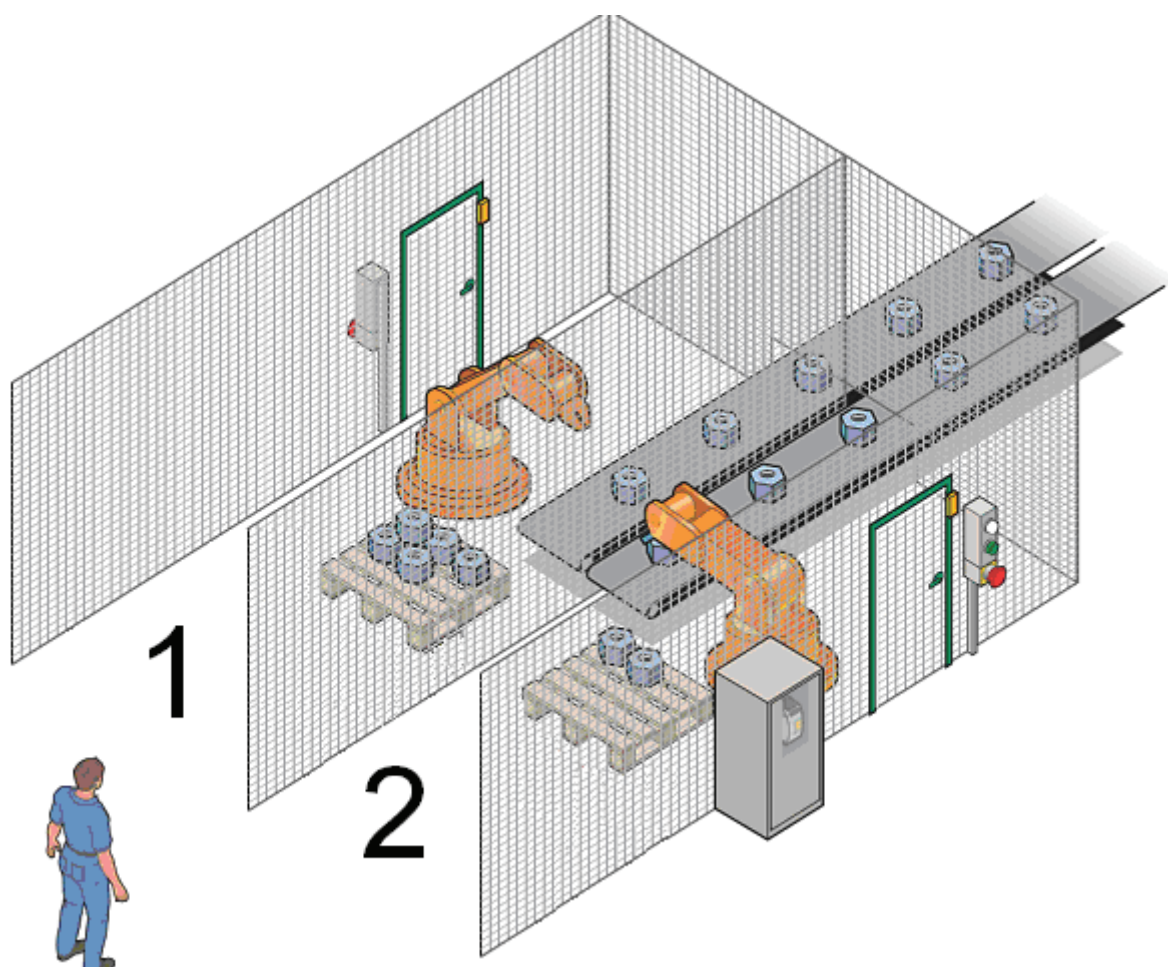
.....

.....

.....

.....

46. Domanda: Quali sensori di sicurezza possono essere usati per salvaguardare gli accessi agli spazi di lavoro individuali 1 e 2?



.....

.....

.....

.....

.....

.....

47. **Domanda:** *Elenca le prescrizioni di sicurezza relative all'Energia latente.*

.....

.....

.....

.....

48. **Domanda:** *Elenca le prescrizioni di sicurezza relative agli elementi di controllo.*

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

49. Domanda: Elenca le prescrizioni di sicurezza riguardanti le interruzioni o le fluttuazioni dell'alimentazione.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

50. Domanda: Elenca le prescrizioni riguardanti l'arresto di sicurezza.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

51. Domanda: Elenca le prescrizioni di sicurezza riguardanti l'equipaggiamento elettrico.

.....

.....

.....

.....

52. Domanda: Definisci il concetto di "danno".

.....

53. Domanda: Definisci il concetto di “pericolo”.

.....

54. Domanda: Definisci il concetto di “rischio”.

.....

55. Domanda: Definisci il concetto di “organo terminale”.

.....

56. Domanda: Definisci il concetto di “sistema robotico”.

.....

57. Domanda: Definisci il concetto di “spazio massimo”.

.....

58. Domanda: Definisci il concetto di “spazio limite”.

.....

59. Domanda: Definisci il concetto di “spazio operativo”.

.....

60. Domanda: Definisci il concetto di “utilizzo previsto di un robot”.

.....

MECCATRONICA

Modulo 10: Robotica

Soluzioni

(concetto)

Petr Blecha
Zdeněk Kolíbal
Radek Knoflíček
Ales Pochylý
Tomas Kubela
Radim Blecha
Tomas Brezina

Università Tecnica di Brno,
Cechia



Concetto europeo per la Formazione Continua in Meccatronica di personale esperto nella produzione industriale globalizzata

Progetto UE no. 2005-146319 „Minos“, durata dal 2005 al 2007

Progetto UE no. DE/08/LLP-LdV/TOI/147110 „MINOS⁺⁺“, durata dal 2008 al 2010

Il presente progetto è finanziato con il sostegno della Commissione europea. L'autore è il solo responsabile di questa pubblicazione (comunicazione) e la Commissione declina ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute.

www.minos-mechatronic.eu



DG Istruzione e cultura

Programma di apprendimento
permanente

1. Domanda: Descrivi i metodi di programmazione dei robot

Programmazione dei robot "On-Line" – La programmazione *on-line* viene effettuata presso lo stesso sito di produzione e coinvolge la cella di lavoro. Il robot viene programmato attraverso un *teach-box*, ovvero uno strumento che registra e memorizza i movimenti meccanici per successivi richiami ed esecuzioni mediante un sistema elettronico o computerizzato. La programmazione *on-line* presenta i seguenti vantaggi/svantaggi, rispetto a quella *off-line*:

- | | |
|------------|---|
| Vantaggi: | <ul style="list-style-type: none">- Facilmente accessibile- Il robot è programmato in base all'effettiva posizione dell'attrezzatura e dei pezzi |
| Svantaggi: | <ul style="list-style-type: none">- Tiene impegnate attrezzature produttive di valore- Lentezza di movimento durante la programmazione- Logica di programma e calcoli difficili da implementare- La produzione è sospesa durante la programmazione- Il suo costo equivale a quello di produzione- Generalmente mal documentata |

Programmazione dei robot "Off-Line" – La programmazione *off-line* avviene su un computer dove sono impiegati modelli della cella di lavoro completa di robot, pezzi e barriere. Nella maggior parte dei casi i programmi di lavorazione possono essere creati sulla base dei dati CAD già esistenti, perciò la programmazione è veloce ed efficace. Tali programmi sono verificati con la simulazione e ogni eventuale errore viene preventivamente corretto.

- | | |
|------------|---|
| Vantaggi: | <ul style="list-style-type: none">- Non impegna attrezzature produttive- Efficace programmazione delle logiche e dei calcoli attraverso strumenti di <i>debugging</i> avanzati- I percorsi sono definiti solo in base a modelli e ciò può implicare la necessità di affinare il programma direttamente <i>on-line</i> o usare dei sensori- Efficace programmazione delle posizioni di lavoro- Verifica del programma di lavorazione attraverso simulazione e visualizzazione- Ben documentata attraverso simulazioni con appositi programmi- Riutilizzo dei dati CAD già esistenti- Il costo di programmazione è indipendente da quello di produzione. La produzione può continuare anche in fase di programmazione.- Strumenti di supporto al processo, ad esempio selezione di parametri di saldatura |
| Svantaggi: | <ul style="list-style-type: none">- Necessita di investire in un sistema di programmazione <i>off-line</i> |

Programmazione dei robot ibrida – La tecnica di programmazione *off-line* può essere migliorata sfruttando i vantaggi di quella *on-line*. In tal caso, si parla generalmente di “programmazione ibrida”. Un programma di lavorazione è costituito principalmente da due parti: posture (posizione e orientamento) e logica di programma (strutture di controllo, comunicazione, calcoli). Le logiche del programma e la maggior parte dei comandi di movimentazione possono essere efficacemente sviluppati *off-line* a partire dai dati CAD con l'intervento del programmatore. Eventualmente, ulteriori comandi di movimentazione necessari ad individuare l'effettiva collocazione del pezzo all'interno della cella di lavoro possono essere programmati *on-line*. In questo modo, vengono sfruttati i vantaggi di entrambe le tecniche.

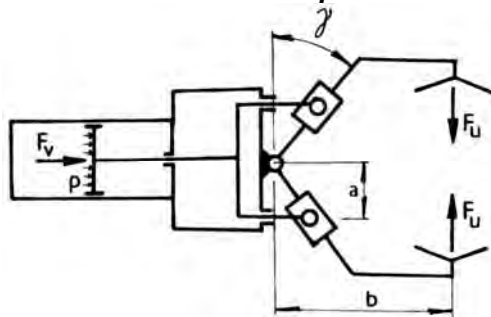
Programmazione dei robot per apprendimento immediato – In modalità “TEACH” , l'*end-effector* (testa tecnologica) è guidato dal programmatore lungo un percorso desiderato, il quale viene registrato nel sistema di controllo. In modalità “REPEAT”, dopo l'attivazione del programma, il robot continua a ripetere l'attività registrata. Tale metodologia è utilizzata principalmente per la saldatura continua lungo un percorso desiderato oppure per l'applicazione di vernice o di rivestimenti protettivi.

Programmazione dei robot mediata – Il programmatore utilizza il pannello di controllo per guidare l'*end-effector* del robot fino al punto desiderato che viene salvato nella memoria del sistema di controllo. Successivamente il robot esegue delle operazioni preimpostate su tali punti oppure nello spazio fra di essi. Tale tecnica è ad esempio molto pratica per effettuare la saldatura a punti di carrozzerie.

2. **Domanda: descrivi e classifica i componenti di presa**

<u>meccanici:</u> jaws)	- passivi:	- supporti fissi e regolabili (fixed and adjustable props) - mascelle flessibili e sospese (flexible and suspended)
	- attivi:	- con motore idraulico - con motore pneumatico - con motore elettrico - con elettromagnete
<u>magnetici:</u>	- passivi:	- magneti permanenti
	- attivi:	- elettromagneti
<u>a vuoto:</u>	- passivi:	- ventose deformabili (alternativa: con una valvola ausiliaria)
	- attivi:	- con pompa a vuoto - con un espulsore
<u>speciali</u>		

3. **Domanda:** Sulla base del seguente schema, specifica il diametro richiesto dall'attuatore lineare a fluido che comanda la pinza



Per il calcolo del diametro dell'attuatore lineare a fluido (pneumatico o idraulico) che comanda la pinza, la cui meccanica è mostrata in fig. 2.60, si può ricorrere all'espressione della forza motrice F_v , che ammette la seguente formulazione:

$$F_v = p \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \eta_v$$

dove D è il diametro del cilindro in pressione, η_v è il rendimento del motore a fluido. Il rapporto fra forza motrice F_v e forza di presa F_u è dato dalla seguente formula:

$$\frac{F_v}{F_u} = \frac{2b}{a} \cdot \cos^2 \gamma$$

Pertanto il diametro cercato sarà dato da:

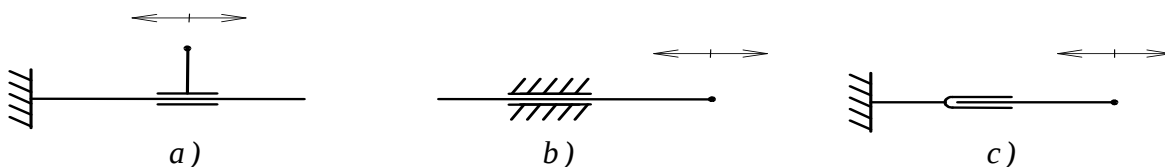
$$D = 4 \cdot \cos \gamma \cdot \sqrt{\frac{F_u \cdot b}{a \cdot \pi \cdot p \cdot \eta_v \cdot \eta_i}}$$

dove γ è l'angolo di trasmissione, η_i è il rendimento meccanico del sistema di trasmissione biella-pinza.

4. **Domanda:** Descrivi e fornisci degli schemi per le diverse tipologie di coppie cinematiche utilizzate nella costruzione di robot industriali e di manipolatori

Coppia prismatica (T) - Una rappresentazione di questa coppia cinematica è relativamente semplice e richiede solo la descrizione del movimento lineare di due corpi, l'uno lungo l'altro. Tuttavia, devono essere considerati i diversi possibili movimenti relativi dei due corpi:

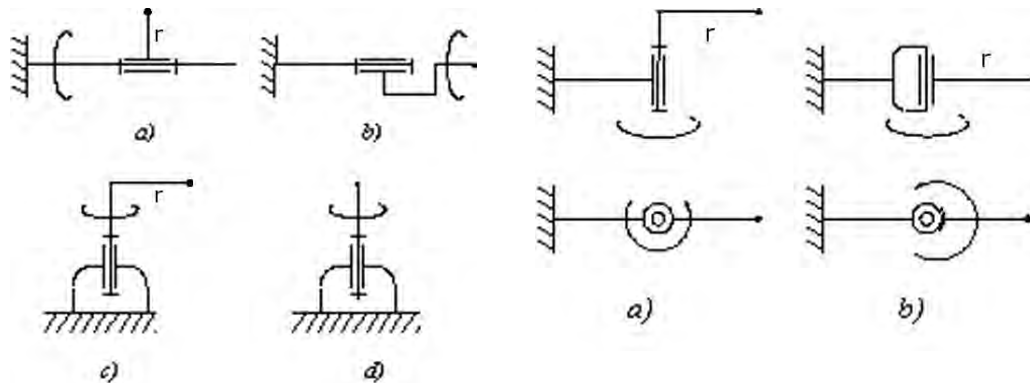
- Un corpo corto si muove su una guida lunga – *support design* (a)
- Un corpo esteso si muove all'interno di una guida corta – *slide design* (b)
- Design di estensione o telescopico (c)



In mancanza di altri simboli, si assume che gli elementi in movimento mostrati nello schema precedente non possano ruotare.

Coppia cinematica rotoidale (R) – Nella rappresentazione di una coppia rotoidale (*Rotational Kinematic Pair* - RKP), bisogna considerare le sue caratteristiche specifiche, che riguardano la rotazione intorno al proprio asse oppure la rotazione di un braccio di lunghezza "r" intorno ad un asse eccentrico (giunto). Inoltre, bisogna considerare anche la direzione della vista del giunto rotoidale (frontale, planare o laterale).

- RKP con un braccio rotoidale „r“ (a, c)
- RKP con rotazione intorno al proprio asse (b, d)
- RKP con un angolo di rotazione illimitato (e)
- RKP con un angolo di rotazione limitato (f)



5. Domanda: A cosa servono i dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD) per i robot industriali e per i manipolatori?

I PD sono strumenti di manipolazione ausiliari o meccanismi interoperazionali il cui scopo è semplificare la movimentazione degli elementi oggetto della robotizzazione (ad esempio un pezzo, una fusione, un elemento saldato, una parte, ecc.) all'interno dello spazio di lavoro di robot industriali stazionari (IR) o di un manipolatore (M).

6. Domanda: Che funzione svolgono i dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD)?

I dispositivi periferici (PD) effettuano le movimentazioni necessarie fra le singole lavorazioni all'interno della cella di lavoro robotizzata (*Robotized Workplace* - RW), che non possono essere svolte né dal robot, né dal manipolatore. Inoltre, essi assicurano anche il flusso di pezzi necessario ed il loro corretto orientamento nello spazio. In altre parole, i PD assicurano il trasporto e la conservazione degli oggetti, ne semplificano la manipolazione, ecc.. I PD rendono la programmazione del sistema operativo di una RW molto meno difficile e inoltre consentono l'utilizzo di Manipolatori e Robot industriali dotati di un minor numero di gradi di libertà o caratteristiche tecniche meno complesse.

7. Domanda: Quali sono i vantaggi nell'uso di dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD) in una postazione tecnologica robotizzata (Robotized Technological Workplace - RTW)?

La cooperazione di un manipolatore o di un robot industriale con i dispositivi periferici velocizza il processo di manipolazione, diminuendo i tempi necessari per la stessa manipolazione. Inoltre, essi spesso migliorano anche l'accuratezza nel posizionamento dell'oggetto.

8. Domanda: Quali sono le soluzioni costruttive e la relativa classificazione dei dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD)?

Le soluzioni costruttive dei dispositivi periferici sono sempre legate alla particolare RTW, e possono essere classificati secondo diversi aspetti, e cioè: la funzione che devono svolgere, le caratteristiche costruttive, il loro posizionamento all'interno della cella robotizzata.

9. Domanda: Quali caratteristiche funzionali devono avere i dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD)?

Le funzioni dei dispositivi periferici possono essere classificati in tre gruppi principali:

- a) La periferica muove l'oggetto, cambiando la posizione del suo centro di massa, lasciando inalterato il suo orientamento nello spazio;
- b) La periferica cambia l'orientamento dell'oggetto, ruotandolo intorno ad un asse passante per il centro di massa, ma non ne cambia la posizione;
- c) La periferica cambia sia l'orientamento sia la posizione del centro di massa dell'oggetto.

10. Domanda: Come possono essere classificati i dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD) in relazione alle loro caratteristiche costruttive di base?

In base alle loro caratteristiche costruttive i dispositivi periferici possono essere classificati in nastri trasportatori, piani rotanti e composti, dispositivi di sollevamento e trasporto, trasportatori a cestello, pallets, carrelli di trasporto.

11. Domanda: Come possono essere classificati i dispositivi terminali (Peripheral Devices - PD) in relazione al modo in cui realizzano lo spostamento di un oggetto ovvero, più precisamente, del suo centro di massa?

L'oggetto viene ricollocato cambiando la posizione del suo centro di massa, mentre l'orientamento del pezzo resta costante. È possibile riconoscere i seguenti PD (elencati in base alla direzione nella quale viene spostato il centro di massa): dispositivi che spostano il centro di massa lungo una linea, lungo una circonferenza, in un piano o nello spazio.

12. Domanda: Come possono essere classificati i dispositivi terminali (PD) in relazione alle loro soluzioni costruttive?

Le soluzioni costruttive dei dispositivi terminali sono sempre consistenti con il tipo di macchina di produzione, manipolatore o robot industriale, ma soprattutto con le finalità della postazione di lavoro. Infine esse dipendono dall'oggetto da manipolare (la sua forma, dimensione, peso, composizione, ecc.). Dal punto di vista costruttivo, i dispositivi terminali possono essere classificati in trasportatori, posizionatori e attrezzi di saldatura.

13. Domanda: Quali tipi di trasportatori conosci?

I trasportatori sono elementi fondamentali per il trasporto di componenti e pezzi (oggetti della manipolazione) e possono essere di varie forme e tipologie. Essi possono

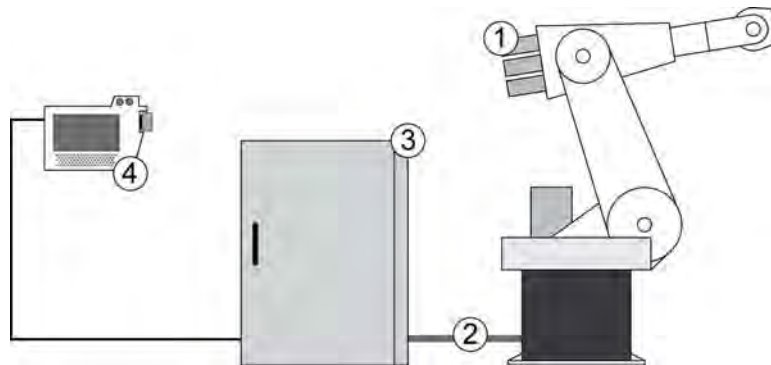
trasportare semilavorati, parti finite, strumenti, attrezzi di produzione, assiami o anche materiale di scarto. I più utilizzati sono: nastri trasportatori, trasportatori a catena, trasportatori aerei, trasportatori a vibrazione, trasportatori in linea di assemblaggio automatizzate, e trasportatori a rulli.

14. Domanda: A cosa servono i posizionatori e gli attrezzi di saldatura?

I posizionatori e gli attrezzi di saldatura sono usati per fissare la posizione di saldatura. Il posizionatore fissa il pezzo da saldare, ed inoltre esegue semplici movimenti per realizzare, mediante una testa tecnologica, saldature ad arco, con pinze o a punti (saldatura a resistenza).

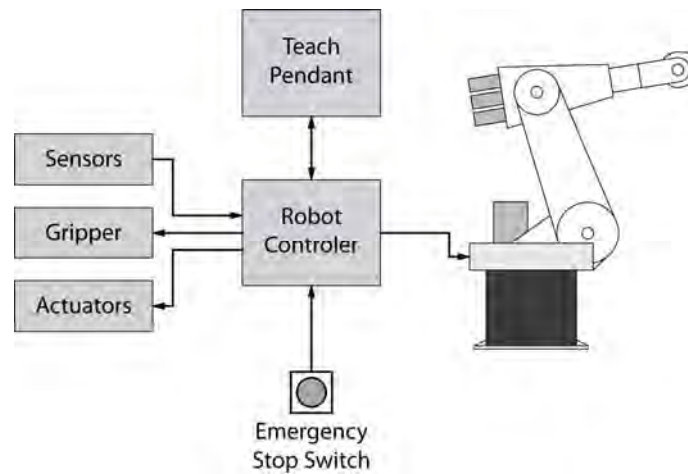
15. Domanda: Elenca gli elementi di base di una postazione robotizzata e descrivi quelli più importanti

- Robot industriale (1)
- Linea di connessione (2)
- Sistema di controllo – alloggiamento che contiene il controllore del robot, i trasformatori di frequenza dei singoli assi ed eventuali altre periferiche (3)
- *Teach pendant* – per mezzo del *teach-pendant* è possibile muovere il robot nello spazio e quindi creare un percorso di lavoro per punti che il robot dovrà successivamente seguire in modalità automatica (4)
- end-effector – si trova sulla testa del robot e serve ad eseguire delle specifiche operazioni, ad esempio presa dei pezzi, saldatura, ecc.
- Sensoristica
- Elementi per la prevenzione della collisione fra robot e operatore umano, come ad esempio barriere meccaniche

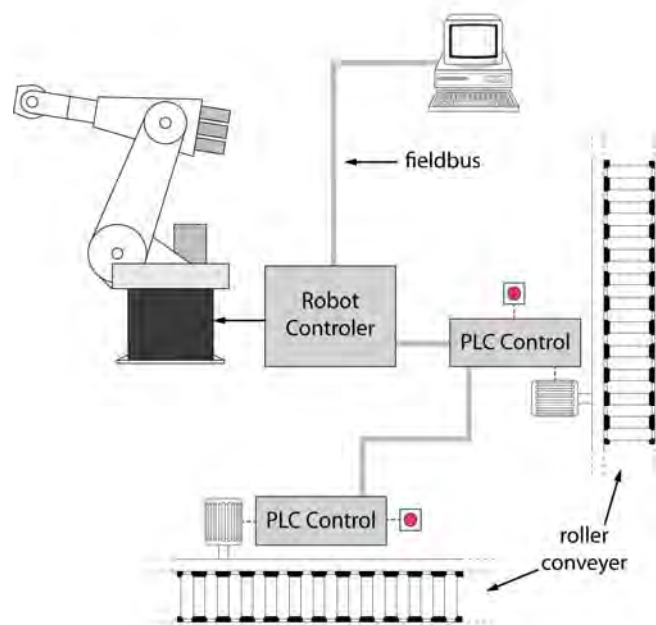


16. Domanda: Descrivi i diversi modi di controllare una postazione robotizzata con riferimento ai collegamenti con altri dispositivi. Disegna uno schema.

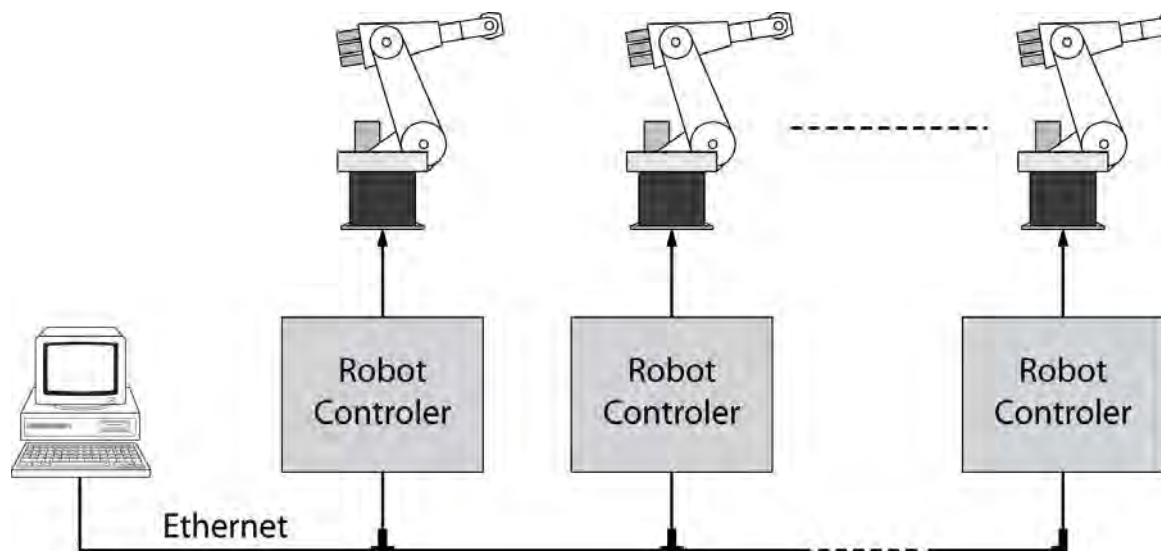
Controllo basato sul solo sistema di controllo di base del robot.



Connessione del sistema di controllo del robot con un PLC di supervisione via rete (ad esempio *DeviceNet*).



Controllo remoto di una postazione di lavoro più complessa con diversi robot industriali, tramite rete Ethernet e server OPC.



17. Domanda: Quali sono gli elementi più importanti di una postazione robotizzata per la saldatura ad arco?

Elementi di base:

- Generatore di corrente
- Torcia di saldatura
- Alimentatore del filo

Elementi supplementari:

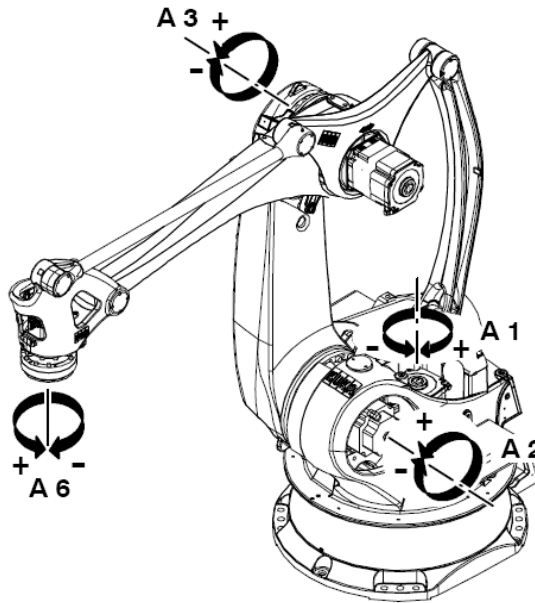
- Sensore di collisione
- Dispositivi per la pulizia della torcia di saldatura ed il taglio del filo
- Unità di calibrazione automatica del TCP (*tool center point*)
- posizionatore del pezzo da saldare

18. Domanda: Quali sono gli elementi indispensabili di una postazione robotizzata per la saldatura a punti?

- Generatore di corrente
- elettrodi per la saldatura a punti
- Unità di processo che assicura il regolare flusso del liquido di raffreddamento

19. Domanda: Quale tipologia di robot industriale è più spesso utilizzata per semplici operazioni di manipolazione, come la pallettizzazione? Descrivi la sua struttura e spiega la sua importanza.

Generalmente per un compito di pallettizzazione viene impiegato un robot con un ridotto numero di assi (4 gradi di libertà – DOF – invece di 6). Gli assi 4 e 5 non sono presenti poiché non è necessario controllare la rotazione del pezzo manipolato intorno agli assi x e y. In una postazione di pallettizzazione è sufficiente la sola rotazione del pezzo intorno all'asse z. Il corretto posizionamento del pezzo è assicurato da due tiranti a barra. Un vantaggio di tale struttura è una maggiore capacità di carico.



20. Domanda: Elenca i principali vantaggi della verniciatura robotizzata

Consente di risparmiare circa il 25 – 30% di vernice rispetto alla verniciatura manuale. E' ideale in tutti quei casi in cui i vapori delle vernici possono risultare nocivi per la salute.

21. Domanda: Descrivi l'attrezzatura necessaria per i robot industriali usati per la verniciatura.

- Pistola spray
- Sistema di distribuzione della vernice - esterno, se la vernice è distribuita lungo condotti sul lato esterno del robot, o integrato all'interno dei bracci (più comunemente impiegato)
- Sistema di alimentazione della vernice tramite pompa ad ingranaggi. La trasmissione ad ingranaggi è realizzata da un tradizionale servomotore che, collegato al sistema di controllo del robot, agisce come un settimo asse.
- Alimentazione della vernice - per mezzo di regolatori di pressione a controllo pneumatico provvisti di misuratori di flusso
- Sistema di cambiamento del tipo di vernice - valvole a comando pneumatico
- Protezione esterna del robot - materiale tessile, strato di Teflon

22. Domanda: Descrivi le tipologie di postazioni di verniciatura in relazione alla tecnologia impiegata.

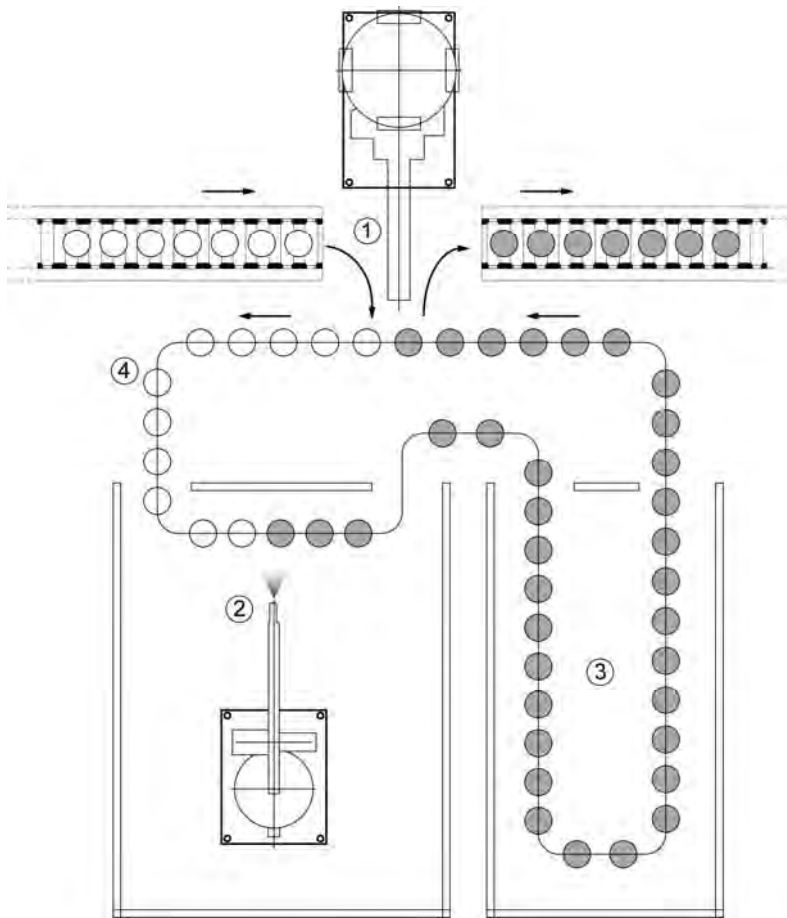
Verniciatura con vernici liquide, diluibile solo in solventi speciali ad alto rischio di esplosione, il robot deve avere una protezione sufficiente dei suoi componenti elettrici. Migliore adesione dello strato applicato sulla superficie.

Rivestimento con vernici in polvere - non vi è alcun pericolo di esplosione, il processo di verniciatura è più lento, minore adesione degli strati di vernice applicati alla

superficie. La postazione di lavoro può essere dotata di un ulteriore robot che prepara la superficie da spruzzare preriscaldandola (plasma, fiamma, ecc.).

23. Domanda: Descrivi una postazione robotizzata progettata per la verniciatura.

- (1) Postazione per il carico e lo scarico delle parti dai nastri trasportatori, governata da un robot industriale.
- (2) Postazione di verniciatura
- (3) Postazione di asciugatura della vernice (libera, a fuoco, ecc)
- (4) Le celle sono dotate di un alimentatore di tipo a sospensione per l'alimentazione dei pezzi da spruzzare.



24. Domanda: Descrivi le postazioni progettate per operazioni tecnologiche come lo stampaggio ed il taglio.

Postazione di stampaggio - il robot funziona come un manipolatore ausiliario che cambia la posizione e l'orientamento del componente da piegare nella macchina di piegatura (piegatura di lamiera, formatura di tubi).

Postazione di taglio – una testa di taglio ad alta velocità è utilizzata come end-effector.

Postazione di rettifica - il robot è dotato di una testa rettificante e di un sensore, che misura le forze e i momenti, in modo che la mola eserciti sempre una forza costante sulla superficie in lavorazione.

25. Domanda: Descrivi una postazione robotizzata progettata per l'incollaggio.

Il robot è dotato di una pistola, connessa con un sistema di alimentazione automatica del collante e di una centralina di riscaldamento, che impedisce l'essiccazione della colla nella pistola quando il robot è inattivo. La postazione può essere inoltre dotata di un sistema di preriscaldamento locale delle parti da incollare al fine di realizzare una migliore adesione (plasma).

26. Compito di manipolazione e misura

Compito:

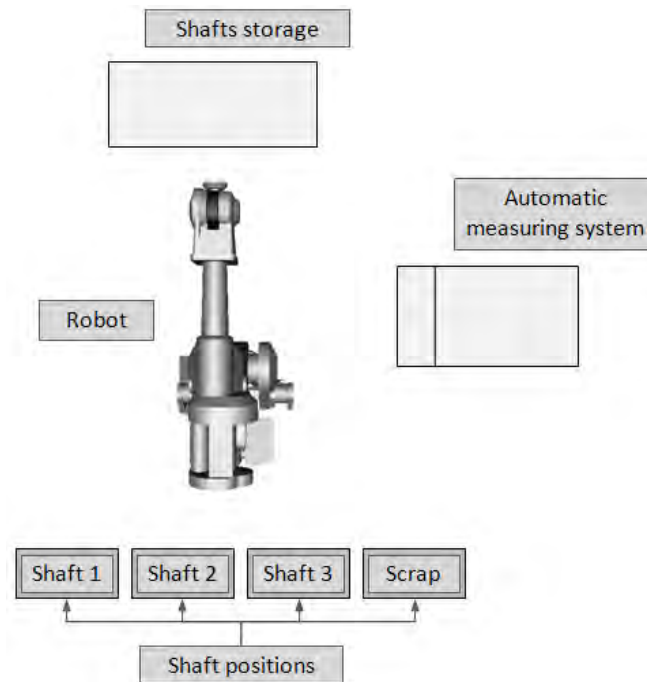
Un robot industriale afferra continuamente componenti - alberi - dal deposito alberi e li colloca in un sistema automatico di misura, in cui viene determinata la lunghezza degli stessi. Il robot invia al sistema di controllo della stazione di misura un segnale di avvio misurazione (al tempo stesso, questo segnale indica il corretto posizionamento del componente nel sistema di misura). La procedura di misurazione richiede circa 2s. A questo punto, un segnale informa il sistema di controllo del robot che l'operazione di misura è conclusa e che il robot può rimuovere il componente (il componente viene rilasciato per essere rimosso). La lunghezza degli alberi può variare come segue: 120 mm (Alberi di tipo 1 – Shaft 1), 140 mm (Alberi di tipo 2 – Shaft 2), 152 mm (Alberi di tipo 3 – Shaft 3). Naturalmente, ci possono essere pezzi difettosi. Questi sono etichettati come rottami (Scrap). In funzione del risultato della misurazione, il robot colloca il componente nell'apposito contenitore (Shaft 1, Shaft 2, Shaft 3 oppure Scrap). Il programma del robot dovrebbe iniziare con la verifica di inizio/fine produzione.

Basandoti sulle tue conoscenze (con particolare riferimento all'esempio nel capitolo 4.2.7), svolgi i seguenti esercizi:

- Disegna uno schema concettuale della postazione (in 2D o 3D),
- Definisci gli input e gli output necessari,
- Definisci le procedure operative del robot,
- Definisci i punti operativi del robot,
- Disegna un diagramma di flusso per il compito assegnato,
- Sviluppa un programma per il compito assegnato (sintassi ABB Rapid).

Soluzione:

- **Schema della postazione di lavoro:**



- **Input:**

Di_1	Inizio produzione
Di_2	Inizio misura

- **Output:**

Do_1	Conferma fine produzione
Do_2	Conferma fine misura
Do_3	Albero 1 – 120 mm
Do_4	Albero 2 – 140 mm
Do_5	Albero 3 – 152 mm
Do_6	Scarto (non necessario)

- **Procedure operative del robot:**

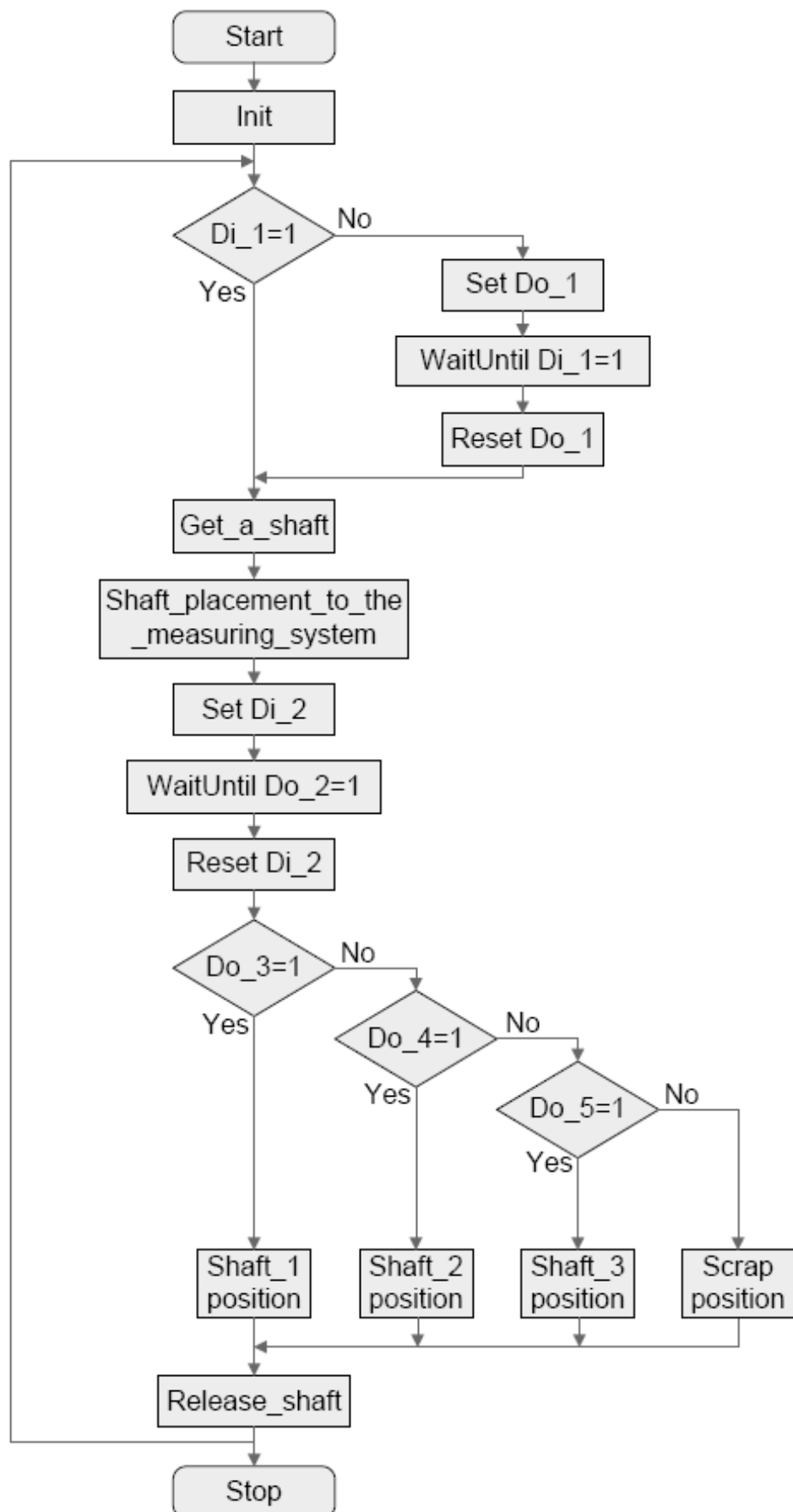
Get_a_shaft	Il robot afferra un albero dal deposito alberi attraverso una pinza
Shaft_placement_to_the_measuring_system	Il robot inserisce l'albero nel sistema di misura
Shaft_1	In base al risultato della misura il robot posiziona l'albero nella postazione 1
Shaft_2	In base al risultato della misura il robot posiziona l'albero nella postazione 2
Shaft_3	In base al risultato della misura il robot posiziona l'albero nella postazione 3
Scrap	In base al risultato della misura il robot posiziona

	l'albero nel contenitore scarti
Grasp_shaft	Il robot chiude le pinze e un albero viene afferrato.
Release_shaft	Il robot apre le pinze e un albero viene rilasciato.

- **Punti operativi:**

Get_a_shaft_position	Posizione in cui il robot afferra l'albero
Measuring_position	Posizione dell'albero nel sistema di misura
Shaft_1_position	Posizione finale dell'albero 1 (120 mm)
Shaft_2_position	Posizione finale dell'albero 2 (140 mm)
Shaft_3_position	Posizione finale dell'albero 3 (152 mm)
Scrap_position	Posizione per gli scarti

- Diagramma di flusso:



- Esempio di programma:

Dichiarazione dati di programma

```
MODULE Shafts
CONST robtarget Get_a_shaft_position:=[[...]];
CONST robtarget Measuring_position:=[[...]];
CONST robtarget Shaft_1_position:=[[...]];
CONST robtarget Shaft_2_position:=[[...]];
CONST robtarget Shaft_3_position:=[[...]];
CONST robtarget Scrap_position:=[[...]];
PERS tooldata Gripper:= [[...]];
```

Subroutines con istruzioni

```
PROC Grasp_shaft()
  "Close Gripper";
  WaitTime 0.5;
ENDPROC ;
PROC Release_shaft()
  "Open Gripper";
ENDPROC
PROC Get_a_shaft()
  MoveJ Get_a_shaft_position,v1000,z20,Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveL Offs(Get_a_shaft_position,0, 0,-50),v100, fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  Grasp_shaft;
  MoveL Get_a_shaft_position,v100,fine, Gripper\wobj:= wobj0;
ENDPROC
PROC Shaft_placement_to_the_measuring_system()
  MoveJ Measuring_position,v1000,z20,Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveL Offs(Measuring_position,0, 0,-50),v100, fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  Release_shaft;
  MoveL Measuring_position,v100,fine, Gripper\wobj:= wobj0;
ENDPROC
PROC Shaft_1()
  MoveL Measuring_position,v100,fine,Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveL Offs(Measuring_position,0, 0,-50),v100, fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  Grasp_shaft;
  MoveL Measuring_position,v100,fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveJ Shaft_1_position,v1000,z20,Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveL Offs(Shaft_1_position,0, 0,-50),v100, fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  Release_shaft;
  MoveL Shaft_1_position,v100,fine, Gripper\wobj:= wobj0;
ENDPROC
PROC Shaft_2()
  MoveL Measuring_position,v100,fine,Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveL Offs(Measuring_position,0, 0,-50),v100, fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  Grasp_shaft;
  MoveL Measuring_position,v100,fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveJ Shaft_2_position,v1000,z20,Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveL Offs(Shaft_2_position,0, 0,-50),v100, fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  Release_shaft;
  MoveL Shaft_2_position,v100,fine, Gripper\wobj:= wobj0;
ENDPROC
```

```

PROC Shaft_3()
  MoveL Measuring_position,v100,fine,Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveL Offs(Measuring_position,0, 0,-50),v100, fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  Grasp_shaft;
  MoveL Measuring_position,v100,fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveJ Shaft_3_position,v1000,z20,Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveL Offs(Shaft_3_position,0, 0,-50),v100, fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  Release_shaft;
  MoveL Shaft_3_position,v100,fine, Gripper\wobj:= wobj0;
ENDPROC
PROC Scrap()
  MoveL Measuring_position,v100,fine,Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveL Offs(Measuring_position,0, 0,-50),v100, fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  Grasp_shaft;
  MoveL Measuring_position,v100,fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveJ Scrap_position,v1000,z20,Gripper\wobj:= wobj0;
  MoveL Offs(Scrap_position,0, 0,-50),v100, fine, Gripper\wobj:= wobj0;
  Release_shaft;
  MoveL Scrap_position,v100,fine, Gripper\wobj:= wobj0;
ENDPROC

```

Routine principale con istruzioni e chiamate alle varie subroutine

```

PROC Main()
  IF Di_1=0 THEN
    Set Do_1;
    WaitUntil Di_1=1;
    Reset Do_1;
  ENDIF
  Get_a_shaft;
  Shaft_placement_to_the_measuring_system;
  Set Di_2;
  WaitUntil Do_2=1;
  Reset Di_2;
  IF Do_3=1 THEN
    Shaft_1;
    Reset Do_3;
  ELSE
    IF Do_4=1 THEN
      Shaft_2;
      Reset Do_4;
    ELSE
      IF Do_5=1 THEN
        Shaft_3;
        Reset Do_5;
      ELSE
        Scrap;
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF
ENDPROC
ENDMODULE

```

27. Domanda: Elenca e descrivi le categorie di componenti di un sistema di controllo legati alla sicurezza

I componenti di sicurezza dei sistemi di controllo sono raggruppati in categorie e classificati in base alla loro resistenza alle avarie e, di conseguenza, al loro comportamento in caso di guasto. Tale classificazione dipende dalla progettazione strutturale delle parti, dalla possibilità d'individuazione dei guasti e/o dall'affidabilità dei componenti utilizzati. Ad ogni categoria viene assegnato uno dei cinque livelli, noti come categorie B, 1, 2, 3 e 4.

Categoria B - è la categoria di base. Le parti di sicurezza del sistema di controllo devono essere progettate, costruite, selezionate, assemblate e connesse in modo da rispettare le normative in essere e, nel caso siano applicate le normative di sicurezza per usi specifici, in modo da resistere a:

- Sforzi di esercizio attesi (ad esempio frequenza di commutazione);
- Contatto con i materiali utilizzati in lavorazione (per esempio vernice);
- Altri effetti esterni rilevanti (ad esempio vibrazioni meccaniche o guasti di alimentazione).

I sistemi di Categoria B non sono dotati di alcuna copertura diagnostica, per cui il verificarsi di un guasto può causare la perdita della loro funzione di sicurezza.



La figura precedente mostra l'architettura stabilita per la categoria B, dove:

i_m - rappresentano i dispositivi di interconnessione

I - è il dispositivo di input (ad esempio il sensore di posizione)

L - rappresenta i circuiti logici del sistema di controllo

O - rappresenta il dispositivo di output

Categoria 1 - è una categoria con una migliore resistenza ai guasti, conseguita principalmente attraverso la selezione e l'uso dei componenti. Per questa categoria si applicano gli stessi requisiti della categoria B. Inoltre, i componenti di sicurezza di un sistema di controllo di categoria 1 devono essere progettati e realizzati con particolari affidabili e secondo principi di sicurezza collaudati.

Per essere considerato affidabile, un componente deve rispettare uno dei seguenti requisiti:

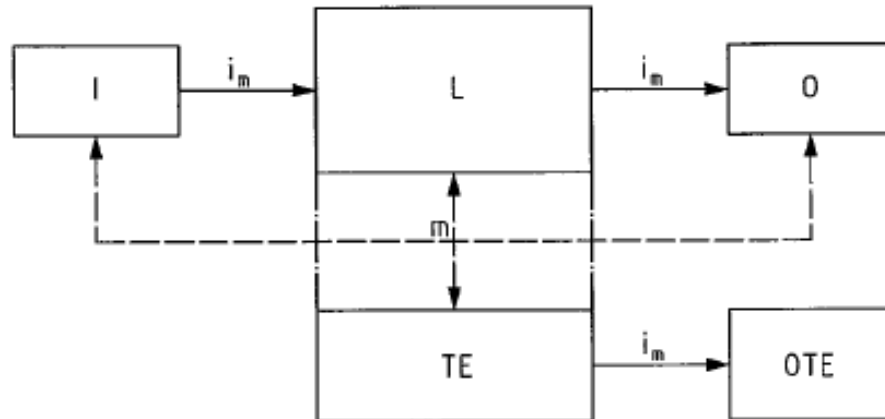
- È stato ampiamente utilizzato in passato in casi analoghi, con risultati soddisfacenti
- È stato costruito e certificato in base a principi che ne assicurano l'idoneità e l'affidabilità ai fini della sicurezza.

L'architettura stabilita per la categoria 1 è la stessa della categoria B. Anche in un sistema di categoria 1 non vi è copertura diagnostica, per cui il verificarsi di un guasto può comportare la perdita della funzione di sicurezza.

Categoria 2 - è una categoria con una migliorata struttura dei componenti di sicurezza del sistema di controllo, che include una funzione di controllo periodico. Questa categoria è anche conforme ai requisiti della categoria B.

Il controllo periodico può essere automatico e deve:

- Consentire il funzionamento quando non sono stati rilevati errori;
- Generare un segnale di output che avvia una opportuna procedura di controllo quando viene rilevato un errore. L'output deve innanzitutto avviare la modalità di sicurezza. Se ciò non è possibile si deve almeno dare un segnale di pericolo.



La figura precedente mostra le caratteristiche dell'architettura fissate per la categoria 2, dove:

i_m - rappresentano i dispositivi di interconnessione

I – rappresenta il dispositivo di input (ad esempio il sensore di posizione)

L - rappresenta i circuiti logici del sistema di controllo

m – è il sistema di monitoraggio

O - rappresenta il dispositivo di output

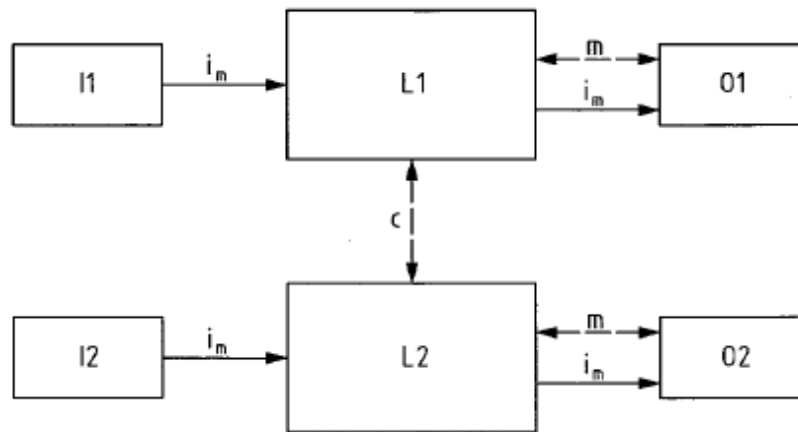
TE - è il dispositivo di test

OTE – rappresenta l'output del dispositivo di test

Dato un sistema di categoria 2:

- Il verificarsi di un guasto causa la perdita della funzione di sicurezza tra un controllo e l'altro;
- Il controllo può rilevare la perdita della funzione di sicurezza.

Categoria 3 - i componenti di sicurezza di un sistema di controllo (SRPICS) di categoria 3 devono essere progettati in modo che un singolo guasto in una qualsiasi di tali parti non possa in alcun modo compromettere la loro funzione di sicurezza. Quando ragionevolmente possibile, un singolo guasto deve essere rilevato prima/in corrispondenza della successiva richiesta della funzione di sicurezza.



La figura precedente mostra le caratteristiche dell'architettura di categoria 3, dove:

- i_m - rappresentano i dispositivi interconnessione
- I1, I2 – sono i dispositivi di input (ad esempio sensori)
- c - rappresenta il sistema di controllo incrociato
- L1, L2 – rappresentano circuiti logici separati
- m – è il sistema di monitoraggio
- O1, O2 – sono i dispositivi di output
- TE - è il dispositivo di test
- OTE – rappresenta l'output del dispositivo di test

Un sistema di categoria 3:

- Garantisce la funzione di sicurezza anche in caso di un singolo guasto;
- Può individuare alcuni, ma non tutti i guasti;
- Impedisce che l'accumulo di errori non riconosciuti porti alla perdita della funzione di sicurezza.

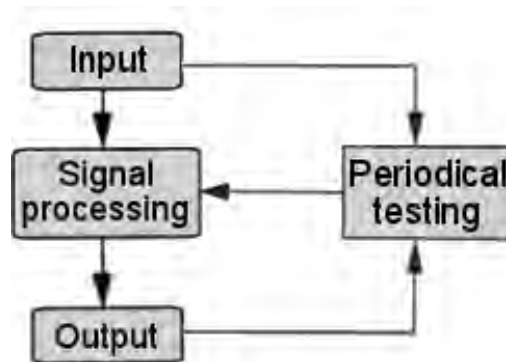
Categoria 4 - le parti relative alla sicurezza del sistema di controllo (SRPICS) di categoria 4 devono essere progettate in modo da evitare che un singolo guasto in una parte qualsiasi del sistema possa causare la perdita della funzione di sicurezza e da garantire l'individuazione di un singolo guasto prima o in corrispondenza della successiva richiesta di funzione di sicurezza, ossia immediatamente all'inizio o alla fine del ciclo di funzionamento della macchina. Se il rilevamento non risulta possibile, l'accumulo di errori non riconosciuti non deve portare alla perdita della funzione di sicurezza.

L'architettura dei sistemi di categoria 4 è la stessa della categoria 3. La differenza fra le categorie 3 e 4 è, per i sistemi di categoria 4, una maggiore copertura diagnostica e l'uso di componenti con una maggiore affidabilità e durata.

Dato un sistema di categoria 4:

- La funzione di sicurezza in caso di guasto singolo è garantita;
- I guasti sono individuati prima che si verifichi la perdita della funzione di sicurezza;
- Viene preso in considerazione l'accumulo di errori non rilevati.

28. **Domanda:** A quale categoria corrisponde l'architettura mostrata in figura?



L'architettura mostrata in figura corrisponde a quella fissata per la categoria 2. Questo tipo di architettura prevede una funzione di controllo periodico ad intervalli opportuni. L'avvio del controllo periodico può essere automatico e deve:

- Consentire il funzionamento quando non sono stati rilevati errori
- Generare un segnale di output, che avvia una opportuna procedura di controllo, quando viene individuato un guasto.

In un sistema di categoria 2:

- Un guasto causa la perdita della funzione di sicurezza tra un controllo e l'altro;
- Il controllo può rilevare la perdita della funzione di sicurezza.

29. **Domanda:** Se una postazione robotizzata è messa in sicurezza per mezzo di barriere fisiche e di un numero sufficiente di sensori di sicurezza per tutti i possibili ingressi, essa deve essere comunque dotata di un pulsante di arresto di sicurezza?

Sì

30. **Domanda:** A che distanza di sicurezza S dall'area di pericolo deve essere posizionata una barriera fotoelettrica, se il tempo necessario per arrestare i movimenti pericolosi è $T=0,5s$?

$$S = (V_o * T) + C$$

$$V_o = 1600 \text{ mm (norma EN 999)}$$

$$T = 0,5 \text{ s}$$

$$C = 850 \text{ mm (norma EN 999)}$$

$$S = (1600 * 0,5) + 850$$

$$S = 1650 \text{ mm}$$

- 31. Domanda: Che colore deve essere usato per il pulsante di arresto di emergenza e per il suo sfondo?**

Il pulsante di arresto di emergenza è rosso su sfondo giallo.

- 32. Domanda: Spiega il significato di "linea luminosa di sicurezza"**

Si tratta di una barriera di sicurezza ottenuta con un singolo fascio di luce e destinata ad applicazioni poco complesse. Il trasmettitore e il ricevitore sono alloggiati nello stesso involucro e un vetro riflettente è utilizzato per riflettere il raggio di luce.

- 33. Domanda: Spiega il significato di "barriera fotoelettrica a senso unico"**

Si tratta di una barriera di sicurezza ottenuta con un singolo fascio di luce destinata ad applicazioni poco complesse. Il trasmettitore e il ricevitore sono alloggiati in contenitori separati e sono posti l'uno alla parte opposta dell'altro.

- 34. Domanda: Qual è la massima risoluzione richiesta alle barriere fotoelettriche per prevenire l'intrusione delle dita dell'operatore all'interno dell'area protetta?**

Barriere fotoelettriche con una risoluzione di 14 o 20 mm.

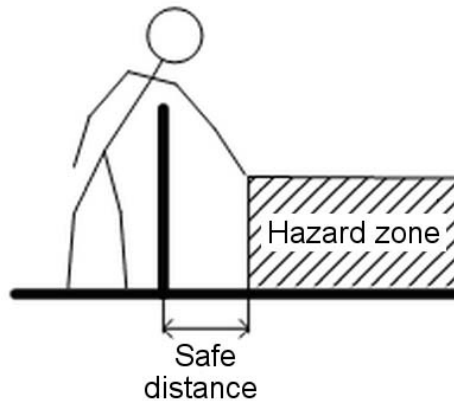
- 35. Domanda: Qual è la massima risoluzione richiesta alle barriere fotoelettriche per prevenire l'intrusione delle mani dell'operatore all'interno dell'area protetta?**

Barriere fotoelettriche con una risoluzione di 30 o 50 mm.

- 36. Domanda: Qual è la massima risoluzione richiesta alle barriere fotoelettriche per prevenire l'accesso di persone all'interno dell'area protetta?**

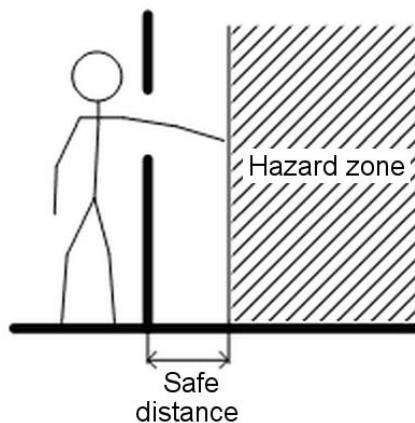
Barriere fotoelettriche con una risoluzione di 100 mm o maggiore.

- 37. Domanda: Qual è la distanza minima dalla zona di pericolo alla quale deve essere posta una barriera fisica, se la stessa zona può essere parzialmente raggiunta al di sopra della barriera (vedi figura)? L'altezza della barriera è di 1000mm e l'altezza dello spazio di pericolo è di 1000mm.**



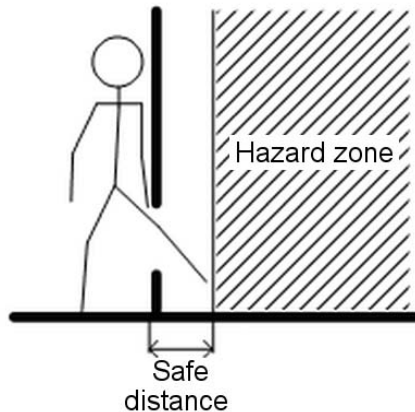
La distanza minima di sicurezza può essere definita in base alla norma EN 294 ČSN. Se il pericolo derivante dall'area di pericolo è basso, la distanza minima è di 1400mm. Se il pericolo derivante dall'area di pericolo è alta, la distanza minima è di 1500mm.

38. **Domanda:** Qual è la distanza minima dalla zona di pericolo alla quale deve essere posta una barriera fisica, se la stessa zona può essere parzialmente raggiunta attraverso la barriera (vedi figura)? L'altezza della barriera è di 1000mm e l'altezza della zona di pericolo è di 1000mm.



La distanza minima di sicurezza può essere definita in base alla norma EN 294 ČSN. Per un foro di accesso che va da 40 a 120 mm, la distanza minima di sicurezza è di 850 mm.

39. **Domanda:** Qual è la distanza minima dalla zona di pericolo alla quale deve essere posta una barriera fisica, se la stessa zona può essere raggiunta attraverso la barriera mediante gli arti inferiori (vedi figura)? L'altezza dell'infrastruttura di sicurezza è di 450mm.



La distanza minima di sicurezza può essere definita in base alla norma ČSN EN 811. Per la situazione in figura e con un'altezza della barriera che va da 400mm a 600mm la distanza minima di sicurezza è di 800 mm.

40. Domanda: Elenca i requisiti di sicurezza dei componenti destinati alla trasmissione di potenza.

Tra tali componenti possono essere annoverati ad esempio la trasmissione a giunti cardanici, *open drive*, a cinghia, ecc. I rischi potenziali derivanti dall'impiego di tali trasmissioni devono essere impediti attraverso opportuni involucri di protezione rigidi o mobili. Gli involucri di protezione mobili devono impedire movimenti pericolosi, prima che essi possano costituire un pericolo per la sicurezza.

41. Domanda: Elenca i requisiti di sicurezza della Funzione arresto di emergenza.

Ogni operazione che implichi l'avvio del robot o qualsiasi altra situazione pericolosa deve essere dotata di controllo manuale della funzione di arresto di emergenza, che deve:

- lavorare come arresto di categoria 0 o categoria 1 (la scelta della categoria di arresto di emergenza dipende dai risultati della valutazione dei rischi);
- essere al di sopra di tutte le altre funzioni e attività in qualsiasi condizione (ha priorità più alta),
- permettere la fermata in caso di pericolo;
- interrompere immediatamente la fornitura di energia a tutte le unità robot (arresto di categoria 0) oppure deve consentire l'arresto del movimento pericoloso appena possibile senza provocare ulteriori rischi (arresto di categoria 1);
- nel caso di più di una unità di controllo, i segnali di arresto di emergenza devono poter essere dati da un'unità di controllo qualsiasi;
- neutralizzare qualunque altro pericolo derivante dall'attività del robot;
- rimanere attivo fino al momento in cui viene effettuato il ripristino;

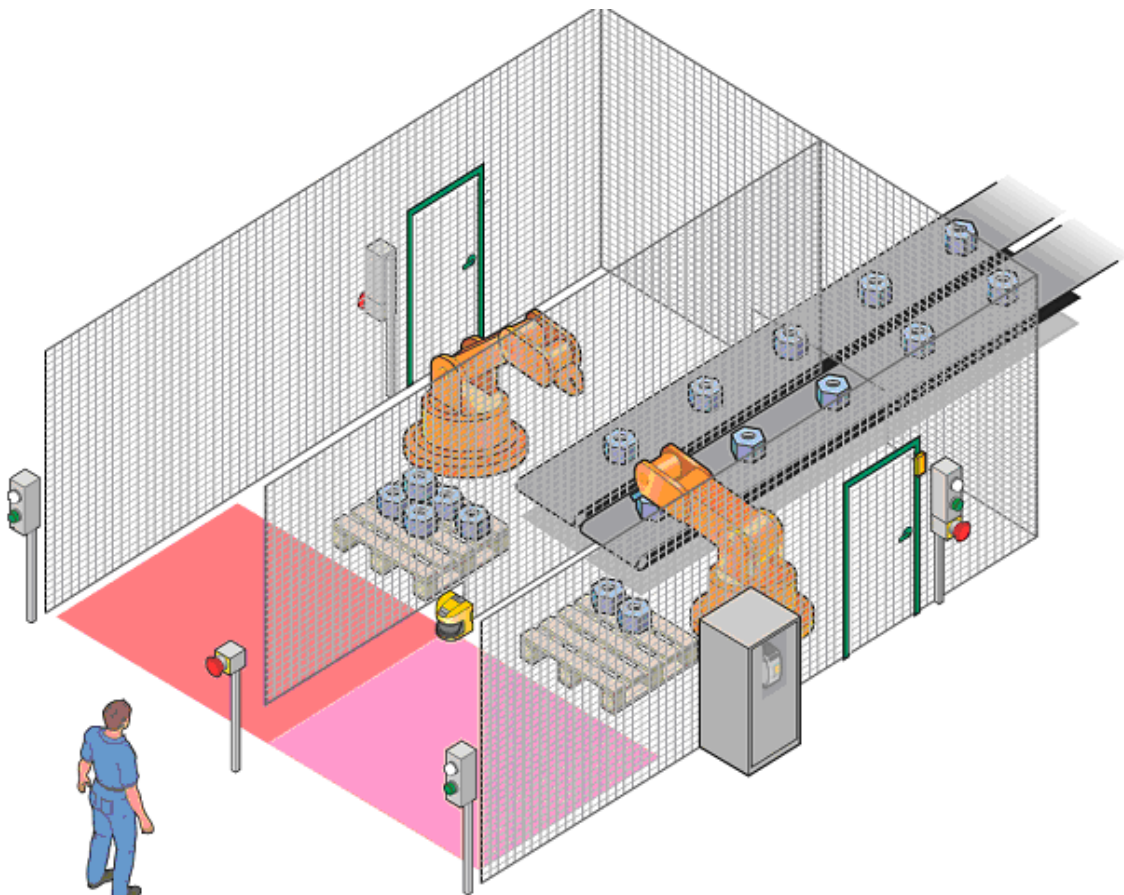
- il ripristino deve essere esclusivamente manuale e non deve necessariamente causare il riavvio del sistema, ma soltanto permetterlo.

42. Domanda: Elenca le prescrizioni di sicurezza per la Velocità ridotta.

Se prevista, la modalità operativa a velocità ridotta implica che la velocità della flangia di fissaggio dell'end-effector e del punto di riferimento dell'oggetto manipolato non superino i 250 mm/s.

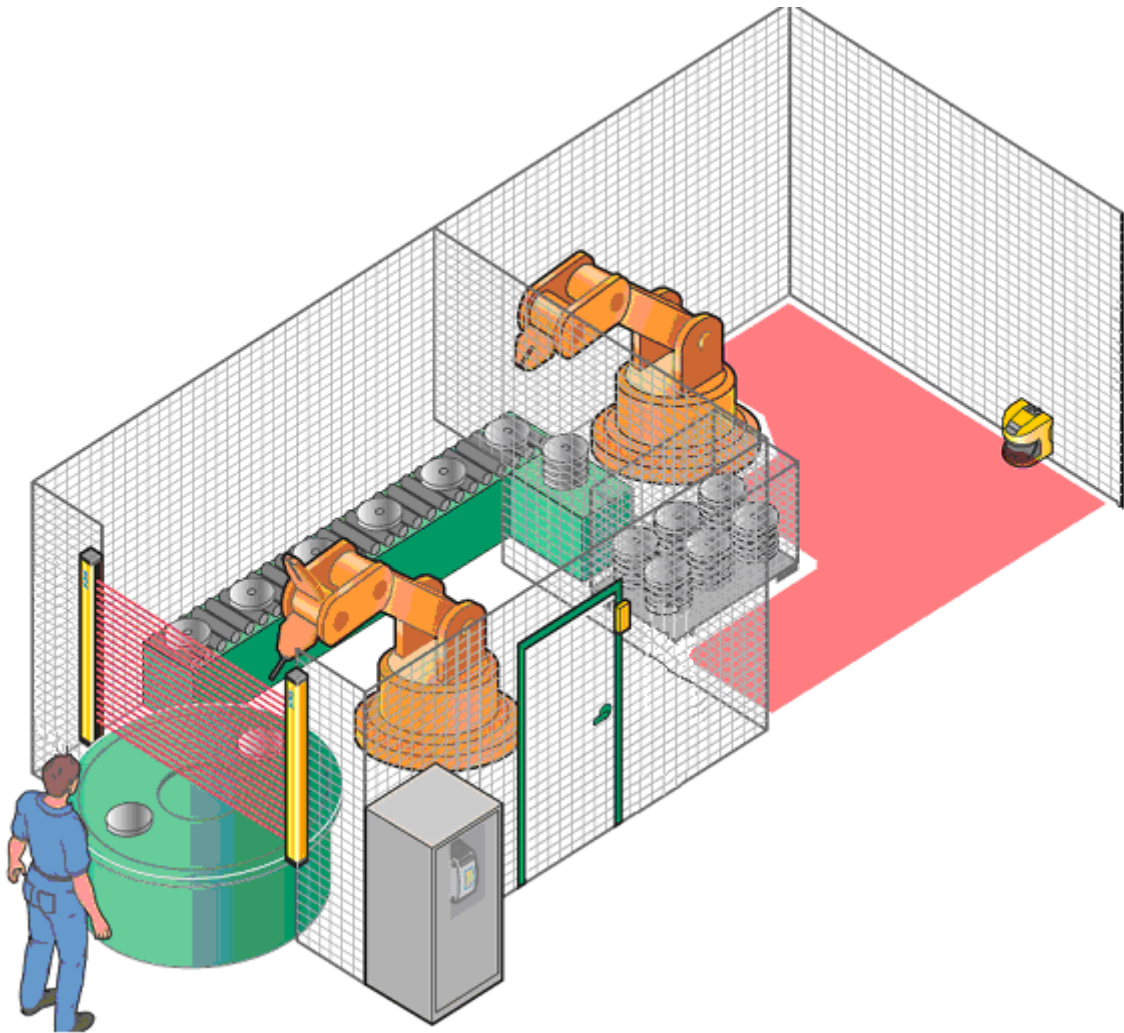
Il controllo su tale modalità operativa deve essere realizzato in modo che la velocità massima non sia superata in ogni caso di guasto razionalmente prevedibile (funzione errata).

43. Domanda: La postazione robotizzata mostrata in figura è adeguatamente protetta? In caso contrario, quali cambiamenti dovrebbero essere posti in essere per garantire la massima protezione?



La porta sul retro non è assicurata. Essa deve essere dotata di un sensore di sicurezza porte.

44. **Domanda:** Di cosa deve essere ulteriormente dotata la postazione robotizzata in figura per essere conforme alle norme di sicurezza?

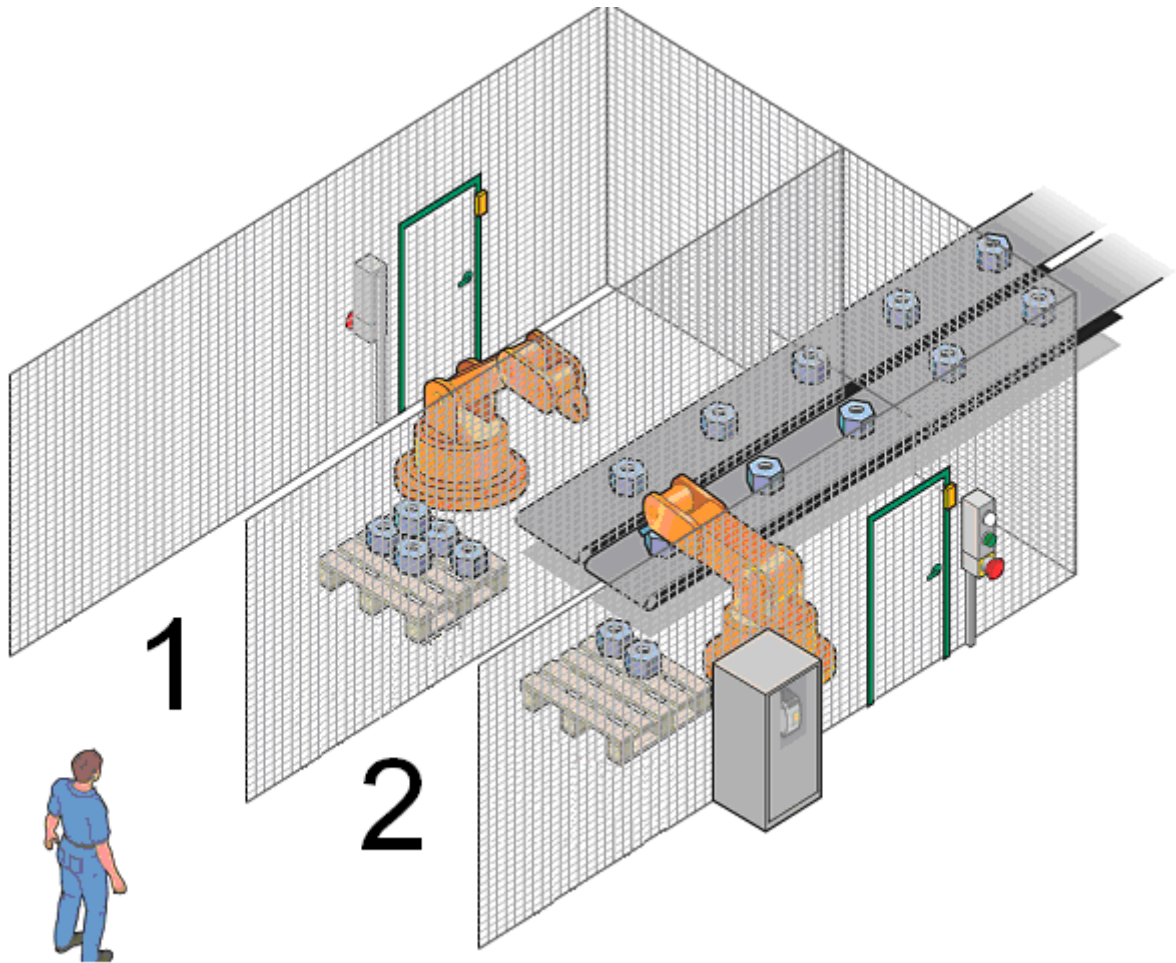


Nella cella robotizzata non è presente alcun pulsante di arresto di sicurezza. Ogni possibile accesso deve essere dotato di pulsante di arresto di sicurezza.

45. **Domanda:** Elenca le prescrizioni di sicurezza relativamente all'Alimentazione.

Le dotazioni del robot devono prevedere la disconnessione di ciascuno dei suoi alimentatori a rischio (es. elettrico, meccanico, idraulico, pneumatico, potenziale, ecc) attraverso un interruttore di blocco o qualsiasi altra forma di blocco di sicurezza.

46. Domanda: Quali sensori di sicurezza possono essere usati per salvaguardare gli accessi agli spazi di lavoro individuali 1 e 2?



- La prima possibilità è quella di utilizzare un comune scanner laser di sicurezza, che è stato programmato separatamente per le aree 1 e 2.
- In alternativa, è possibile utilizzare due barriere fotoelettriche di sicurezza (una barriera fotoelettrica indipendente per ciascuna area)
- Un'altra possibilità potrebbe essere l'impiego di pedane di sicurezza (una pedana di sicurezza separata per ciascuna area)

47. Domanda: Elenca le prescrizioni di sicurezza relative all'Energia latente.

L'operatore addetto al robot (regolatore, addetto alla manutenzione) deve disporre di mezzi che consentano il rilascio controllato dell'energia latente. Ogni fonte di energia latente (ad esempio serbatoi per lo stoccaggio di aria/fluidi in pressione, condensatori, batterie, elementi elastici, bilancieri, volani) devono essere provvisti di una adeguata etichetta di sicurezza.

48. Domanda: Elenca le prescrizioni di sicurezza relative agli elementi di controllo.

Gli elementi di controllo devono essere progettati e costruiti in modo da impedire manipolazioni accidentali (con l'uso di interruttori a serratura o pulsanti protetti). La condizione in cui operano gli elementi di controllo deve essere chiaramente indicata (ad esempio acceso, condizione di guasto, funzionamento automatico) ed essere facilmente intelligibile con una chiara indicazione della sua condizione di funzionamento. La realizzazione e la progettazione del sistema operativo di un robot devono garantire che, in caso di robot azionato da un dispositivo unico di programmazione (pannello), sia impedita la sua attivazione o la modifica del controllo locale selezionato da qualsiasi altra fonte (ad esempio un secondo pannello).

49. Domanda: Elenca le prescrizioni di sicurezza riguardanti le interruzioni o le fluttuazioni dell'alimentazione.

Robot ed end-effectors devono essere progettati e realizzati in modo da impedire che eventuali interruzioni o variazioni dell'alimentazione elettrica, idraulica, pneumatica, possano causare pericolo. Per la manipolazione di oggetti devono essere sfruttati principi meccanici indipendenti dall'alimentazione (ad esempio elementi elastici) e, se possibile, l'energia deve essere impiegata solo in fase di rilascio dell'oggetto manipolato. Qualora ciò non sia possibile, il verificarsi di eventuali situazioni di pericolo deve essere evitato con altri mezzi di sicurezza (blocco idraulico, accumulatori di energia, ecc.). Il ripristino dell'alimentazione non deve mai portare ad un movimento automatico di un robot o del suo end-effector.

50. Domanda: Elenca le prescrizioni riguardanti l'arresto di sicurezza.

Il robot deve avere almeno un circuito di interruzione di sicurezza (arresto di categoria 0 o 1) che assicuri il collegamento con dispositivi di protezione esterna, dove:

- Arresto di categoria 0 comporta l'immediata interruzione della fornitura di energia necessaria per il controllo della struttura del robot (il cosiddetto arresto incontrollato);
- Arresto di categoria 1 rappresenta un arresto *controllato* del robot, durante il quale gli elementi di controllo del robot sono alimentati fino a raggiungere una condizione di arresto sicura (dopo l'arresto, l'alimentazione viene interrotta).

L'attivazione del dispositivo esterno di protezione, la rottura del circuito di sicurezza devono comportare l'arresto di tutti i movimenti del robot, l'interruzione dell'alimentazione di tutte le unità robot e prevenire altre situazioni pericolose derivanti dal controllo del sistema robotico fino al suo arresto completo. L'arresto può essere ordinato manualmente o dalla logica di controllo.

51. Domanda: Elenca le prescrizioni di sicurezza riguardanti l'equipaggiamento elettrico.

L'equipaggiamento elettrico dei robot deve essere progettato e realizzato in ottemperanza ai requisiti della norma IEC 60204-1. Tale norma specifica i requisiti per gli impianti elettrici delle macchine, con particolare riguardo per la sicurezza delle persone, la reattività del sistema di controllo e la sua manutenibilità.

52. Domanda: Definisci il concetto di “danno”.

Il danno è una lesione fisica o un problema medico, danneggiamento di una proprietà o di animali.

53. Domanda: Definisci il concetto di “pericolo”.

Il pericolo è una potenziale causa di danno (lesione).

54. Domanda: Definisci il concetto di “rischio”.

Il rischio è la combinazione della probabilità che si verifichi un danno (incidente) con la sua severità.

55. Domanda: Definisci il concetto di “organo terminale” (end-effector).

L'end-effector è un dispositivo terminale specificatamente realizzato per essere collegato ad un interfaccia meccanica, attraverso la quale il robot svolge la sua funzione operativa.

56. Domanda: Definisci il concetto di “sistema robotico”.

Un sistema robotico (sistema robotico industriale) è un sistema che comprende un robot, uno o più end-effector e tutti gli equipaggiamenti, dispositivi o sensori necessari al robot per svolgere le sue funzioni operative.

57. Domanda: Definisci il concetto di “spazio massimo”.

Lo spazio massimo è una zona che comprende il volume di lavoro del robot così come indicato dal costruttore ed inoltre quello dell'end-effector e del pezzo lavorato.

58. Domanda: Definisci il concetto di “spazio limite” (restricted space).

Lo spazio limite è quel sottoinsieme dello spazio massimo, definito da vincoli che impongono limiti che non possono essere oltrepassati.

59. Domanda: Definisci il concetto di “spazio operativo”.

Lo spazio operativo è quel sottoinsieme dello spazio limite che è effettivamente descritto dal robot mentre opera secondo il programma utente.

60. Domanda: Definisci il concetto di “utilizzo previsto di un robot”.

L'utilizzo previsto del robot è l'impiego del robot in ottemperanza alle informazioni contenute nel suo manuale d'uso.