

# Appendice

## VERSO LA PROVA D'ESAME

### Elettronica ed Elettrotecnica, articolazione "Automazione"

### Disciplina: tecnologie e progettazione di sistemi elettrici ed elettronici

- Prova d'esame svolta, anno 2024

#### OBIETTIVI

- In questa appendice sono raccolte le più recenti prove d'esame scritte relative alla materia TPSEE articolazione Automazione.
- I temi sono risolti completamente con spiegazioni approfondite dei passaggi risolutivi e descrizioni puntuali dei passaggi matematici, degli schemi elettrici e dei grafici riportati.
- I temi della sezione digitale dell'appendice sono accessibili sul sito [hoepliscuola.it](http://hoepliscuola.it) alla pagina web del testo in oggetto. Per accedere ai file occorre passare dall'area *Mybookbox* e inserire il codice coupon riportato in terza di copertina.
- Nelle pagine successive di questo testo cartaceo è invece risolta la più recente prova d'esame somministrata alla data di pubblicazione di questo testo.

#### Conoscenze

- Schemi elettrici di potenza e di comando.
- Linguaggio per la programmazione dei PLC.
- Schemi di comando dei motori.
- Circuiti pneumatici.
- Robotica.
- Condizionamento dei segnali.

#### Abilità

- Progettare schemi elettrici di potenza e di comando.
- Sviluppare algoritmi per PLC in uno dei linguaggi della norma.
- Progettare schemi di comando di motori asincroni trifase con relè o con inverter.
- Progettare sistemi complessi con parti pneumatiche e robotiche.
- Progettare i circuiti di acquisizione e condizionare i segnali di ingresso sia di tipo digitale sia di tipo analogico.
- Dimensionare i segnali d'uscita e i relativi attuatori.

# Tecnologie e Progettazione di Sistemi Elettrici ed Elettronici



**AREA digitale**  
Attività di laboratorio

Simulazione soluzione prima parte

Il candidato svolga la prima parte della prova e due tra i quesiti proposti nella seconda parte.

## PRIMA PARTE

Il processo di metallizzazione sottovuoto consente di ottenere una finitura lucida e riflettente su una vasta gamma di materiali quali plastica, vetro e ceramica.

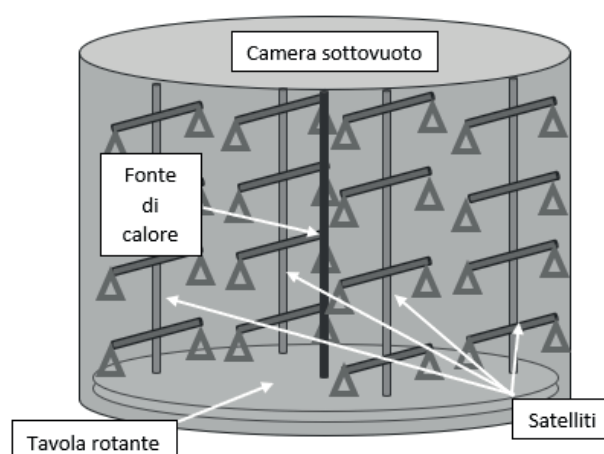
L'alluminio, sottoposto ad alta temperatura in una camera a vuoto, vaporizza rilasciando atomi liberi di muoversi senza l'ostacolo dell'aria; gli atomi, entrando in contatto con le superfici più fredde dei pezzi da metallizzare, aderiscono formando uno strato sottile e uniforme.

Il processo viene realizzato mediante una camera sottovuoto, una fonte di calore e dei telai portapezzi, tecnicamente definiti satelliti, dove vengono appesi gli oggetti da metallizzare.

Alla base della camera sottovuoto è collocata una tavola rotante sulla quale sono posizionati quattro satelliti, ciascuno dei quali può essere caricato con otto pezzi disposti su quattro livelli.

La fonte di calore è un filamento di alluminio che, percorso da corrente elevata, si riscalda fino a vaporizzare.

Durante il funzionamento della macchina, la tavola ruota e con essa i satelliti intorno al proprio asse, affinché gli atomi di alluminio vaporizzato ricoprano uniformemente le superfici degli oggetti.



### Ciclo operativo

Gli oggetti da metallizzare, il cui numero è preventivamente impostato attraverso un pannello operatore, sono prelevati manualmente da un magazzino e sistemati su un nastro trasportatore. Alla pressione di un pulsante P1 il nastro trasportatore si avvia per poi arrestarsi quando il primo oggetto da metallizzare viene rilevato da una fotocellula.

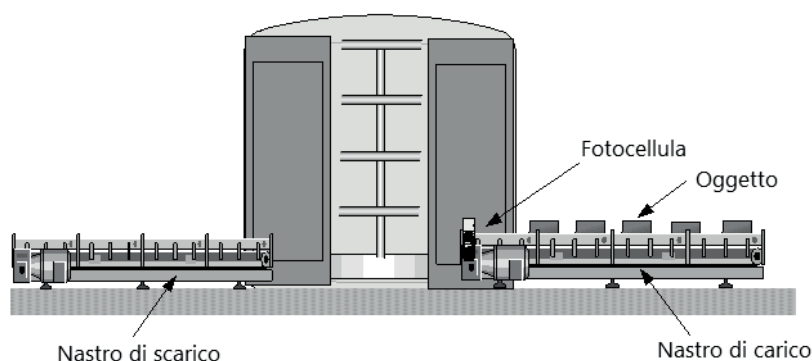
Contemporaneamente il portello della camera a vuoto viene aperto mediante l'attivazione di un cilindro pneumatico.

L'operatore preleva quindi l'oggetto e lo appende in una posizione libera del satellite; a ogni prelievo il nastro riprende automaticamente ad avanzare fino a quando l'oggetto successivo raggiunge la fotocellula.

Una volta occupate tutte le posizioni di un satellite, l'operatore premendo un pulsante P2, attiva la rotazione della tavola cosicché il satellite successivo si allinei al portello della camera a vuoto. Quando tutti gli oggetti da metallizzare sono stati caricati sui satelliti viene accesa una lampada di segnalazione e l'operatore, premendo un pulsante P3, comanda la chiusura del portello.

A chiusura avvenuta, viene attivata una pompa a vuoto al fine di raggiungere una pressione nella camera di  $1 \cdot 10^{-4}$  mbar. Raggiunta tale pressione, si accende il riscaldatore del filamento di alluminio e viene attivato il motore che fa ruotare la tavola. L'alluminio inizia a vaporizzare e il rilascio degli atomi del metallo determina un aumento della pressione pari almeno al 5% rispetto a quella misurata prima dell'inizio della vaporizzazione.

Trascorsi 5 minuti da quando si è registrato l'aumento di pressione il processo si con-



clude: la tavola viene arrestata e il riscaldatore si spegne. Ristabilite le condizioni di pressione all'interno della camera, automaticamente il portello si apre per consentire l'estrazione degli oggetti.

### Ulteriori informazioni di progetto

L'albero della tavola rotante è azionato da un motoriduttore asincrono trifase.

La coppia massima necessaria per far ruotare la tavola è pari a 130 Nm; durante la fase di metallizzazione, questa gira a 40 rpm  $\pm$  15%.

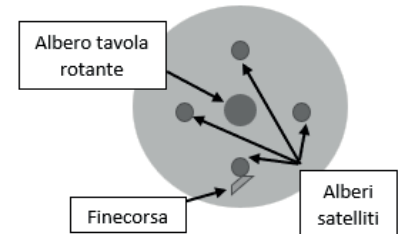
In corrispondenza del portello, alla base della tavola rotante è installato un finecorsa per rilevare il posizionamento di ciascun satellite.

La pressione è misurata mediante un sensore Pirani avente le seguenti caratteristiche:

- range di misura compreso tra  $1 \cdot 10^{-5}$  mbar e 1000 mbar;
- range di tensione in uscita 0,5 ... 8,5 V DC, 1 V/decade, con:  $V_{out} [V] = \log_{10} P [\text{mbar}] + 5,5$

Il candidato, fatte le opportune ipotesi aggiuntive ritenute utili per meglio definire il progetto:

a. individui, tra i modelli elencati nelle tabelle successive, il motore e il riduttore con i quali azionare la tavola rotante;



Modello	$P_N$ [kW]	$n_N$ [rpm]	$T_N$ [Nm]	$\cos\phi$	$\eta$ [%]	$I_A/I_N$
1	0,75	935	7,66	0,61	78,9	5,8
2	1,1	945	11,1	0,69	81,0	5,9
3	1,5	945	15,2	0,69	82,5	6,0
4	2,2	955	22,0	0,71	84,3	6,0
5	3	960	31,0	0,72	86,1	6,3

Modello	$P_N$ [kW]	$n_N$ [rpm]	$T_N$ [Nm]	$\cos\phi$	$\eta$ [%]	$I_A/I_N$
6	0,75	1420	5,04	0,74	82,5	6,3
7	1,1	1445	7,27	0,75	84,1	6,5
8	1,5	1435	9,98	0,75	85,3	6,6
9	2,2	1435	14,64	0,81	86,7	6,9
10	3	1445	19,8	0,82	87,7	7,5

Modello	$P_N$ [kW]	$n_N$ [rpm]	$T_N$ [Nm]	$\cos\phi$	$\eta$ [%]	$I_A/I_N$
11	0,75	2880	2,49	0,83	80,7	6,8
12	1,1	2880	3,65	0,83	82,7	7,3
13	1,5	2895	4,95	0,83	84,2	7,6
14	2,2	2895	7,26	0,85	85,9	7,8
15	3	2895	9,90	0,88	87,1	8,1

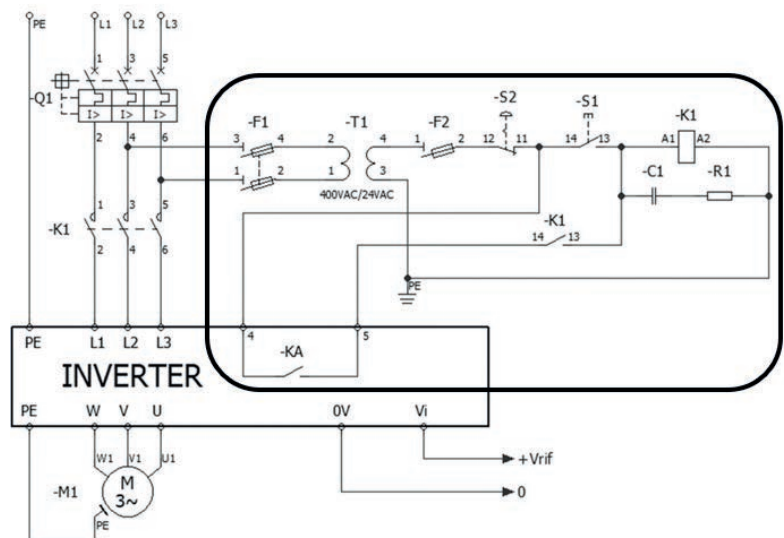
Tabella rapporto di riduzione  $i$  e rendimento statico  $RS$ :

Modello	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M
$i$	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
$RS$	0,67	0,62	0,56	0,57	0,44	0,39	0,39	0,28	0,28	0,25	0,21

b. disegni gli schemi elettrici di potenza e di comando della macchina evidenziando i collegamenti dei dispositivi di I/O all'unità di controllo e dimensionando eventuali circuiti di condizionamento; definisca inoltre la tipologia e le caratteristiche dei dispositivi da installare a protezione del cortocircuito e del sovraccarico nella linea di alimentazione del motore;

c. rappresenti l'algoritmo che permette di gestire il funzionamento della macchina, sviluppandone il relativo codice tramite un linguaggio di programmazione di propria conoscenza;

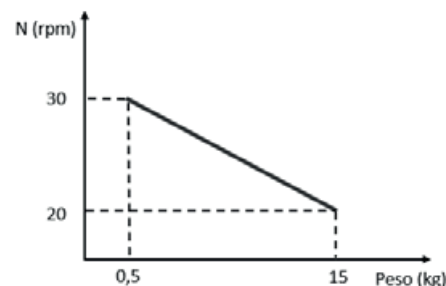
d. nell'ipotesi di rendere variabile la velocità di rotazione della tavola in funzione del peso complessivo degli oggetti caricati, nell'impianto viene effettuata una modifica che prevede l'utilizzo di un inverter per comandare il m.a.t. scelto al punto A. A tale scopo si consideri lo schema di connessione del gruppo motore – inverter a seguito di tale modifica.



Supponendo di aver impostato i seguenti parametri nella configurazione dell'inverter:

- riferimento di velocità analogico, in tensione, compresa tra 0 e 10 Volt;
- frequenza generata dall'inverter di 50 Hz con tensione di riferimento di 10 Volt e 0 Hz con 0 Volt;

il candidato, dopo aver motivato la presenza della sezione di circuito evidenziata e descritto il funzionamento (KA rappresenta il contatto del relè di guasto per l'indicazione remota dello stato dell'inverter), definisca il range di tensione da applicare all'ingresso di riferimento dell'inverter affinché la velocità di rotazione della tavola rispetti il vincolo rappresentato nel grafico successivo, determinando i corrispondenti valori di frequenza generati dall'inverter.



## Soluzione prima parte

### Richiesta A

Per scegliere il motore e il riduttore con i quali azionare la tavola rotante occorre determinare la potenza (meccanica) massima  $P_{1max}$  richiesta al motore.

$$P_{1max} = \frac{P_{2max}}{RS}$$

dove con  $P_{2max}$  si intende la potenza massima richiesta dalla tavola rotante e con  $RS$  il rendimento statico del riduttore.

Il testo fornisce il valore minimo  $n_{2min}$  e il valore massimo  $n_{2max}$  della velocità angolare della tavola:

$$n_{2min} = 40 - 15\% = 40 - 0,15 \cdot 40 = 34 \text{ rpm}$$

$$n_{2max} = 40 + 15\% = 40 + 0,15 \cdot 40 = 46 \text{ rpm}$$

Dal valore di  $n_{2max}$  e dal valore di  $C_{2max}$ , la coppia massima necessaria per far ruotare la tavola, si ottiene  $P_{2max}$ :

$$P_{2max} = C_{2max} \cdot \omega_{2max} = C_{2max} \cdot n_{2max} \cdot \frac{2\pi}{60} = 130 \cdot 46 \cdot \frac{2\pi}{60} = 626,2 \text{ W}$$

Per il rendimento di trasmissione  $RS$  occorre una stima del rapporto di riduzione  $i$ . Si inizia ipotizzando di utilizzare un m.a.t. a due coppie polari, poiché è la tipologia che presenta un costo minore e un rendimento elettrico migliore.

Utilizzando i valori minimi e massimi delle velocità angolari rispettivamente del carico e dei motori a due coppie polari si ottengono i due seguenti valori limite del rapporto di riduzione  $i$ :

$$i_{min} = \frac{n_{1min}}{n_{2max}} = \frac{1420}{46} = 30,9$$

$$i_{max} = \frac{n_{1max}}{n_{2min}} = \frac{1445}{34} = 42,5$$

Quindi, la scelta del riduttore cade sul modello  $G$  poiché è l'unico che presenta un valore di  $i$  pari a 40, all'interno dell'intervallo definito dai due valori limite precedenti. Di conseguenza:

$$P_{1max} = \frac{P_{2max}}{RS} = \frac{626,2}{0,39} = 1606 \text{ W}$$

Il modello 9 fornisce la potenza nominale  $P_n$  appena superiore a  $P_{1max}$ . Si verifica che la sua coppia nominale  $C_{1n}$  sia sufficiente a garantire la coppia massima  $C_{2max}$  sul carico.

$$C_{2n} = C_{1n} \cdot RS \cdot i = 14,64 \cdot 0,39 \cdot 40 = 228 \text{ Nm}$$

$C_{2n}$  risulta con buon margine superiore a  $C_{2max}$ .

### Richiesta B

Si ipotizza che il quadro elettrico dell'impianto di metallizzazione debba garantire l'alimentazione e il comando dei seguenti carichi principali:

- m.a.t. del nastro trasportatore;
- m.a.t. della tavola rotante;
- m.a.t. della pompa a vuoto;
- sistema trifase di resistenze di riscaldamento.

Inoltre, il processo di ristabilimento delle condizioni di pressione all'interno della camera di metallizzazione al termine della fase di deposizione del metallo, quando il riscaldatore viene spento, deve avvenire in modo lento e graduale. Pertanto, si ipotizza di utilizzare a tale scopo una valvola laminatrice del tipo ON-OFF, opportunamente tarata, per l'immissione filtrata e controllata di aria esterna.

L'apertura della porta viene comandata da un cilindro pneumatico a doppio effetto alimentato da una elettrovalvola distributrice 5/2 monostabile.



Come unità di controllo si sceglie una CPU Siemens S7-1215 DC-DC-DC, dotata, oltre che di due ingressi analogici, anche di due uscite analogiche, una delle quali è necessaria per comandare l'inverter previsto dalla richiesta D.

Per prima cosa si redigono le tabelle di assegnazione degli ingressi (**tabella T1.1**) e delle uscite (**tabella T1.2**), riportando i segnali sia digitali sia analogici.

**Tabella T1.1** Tabella di assegnazione degli ingressi.

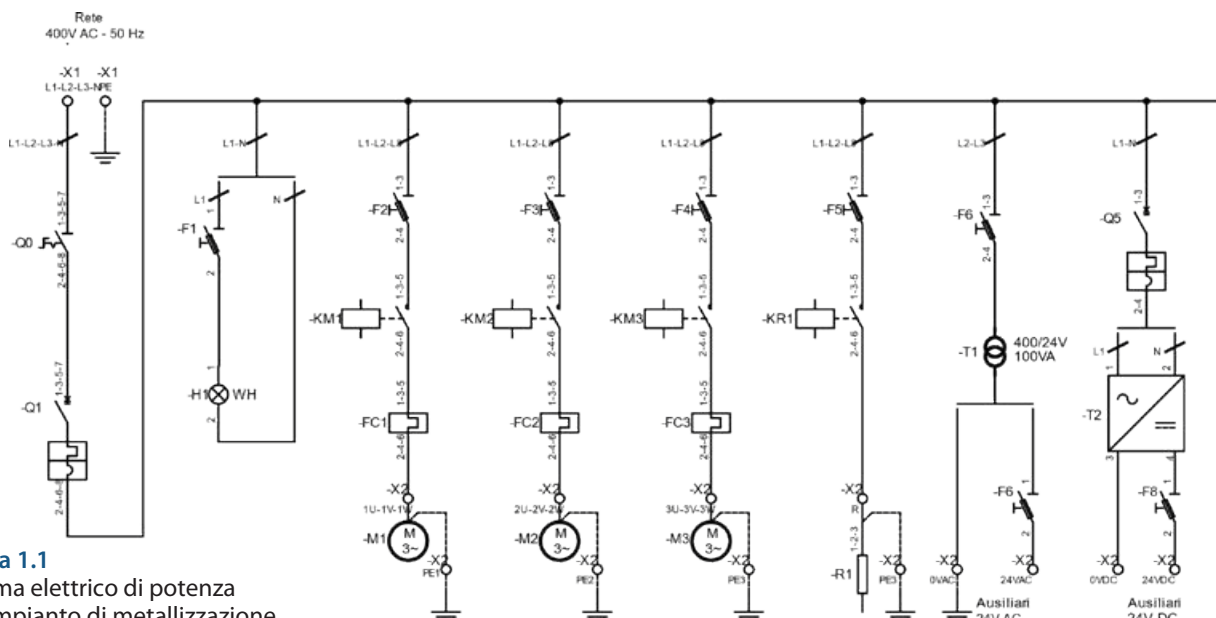
Indirizzo	Tipo	Riferimento	Descrizione
I0.0	Bool	K0	Segnale di emergenza (NC)
I0.1	Bool	P1	Pulsante di avvio ciclo (NO)
I0.2	Bool	P2	Pulsante rotazione tavola (NO)
I0.3	Bool	P3	Pulsante chiusura porta (NO)
I0.4	Bool	B1	Fotocellula presenza oggetto (NO)
I0.5	Bool	B2	Finecorsa satellite (NC)
AI0	Int	B3	Segnale di pressione

**Tabella T1.2** Tabella di assegnazione delle uscite.

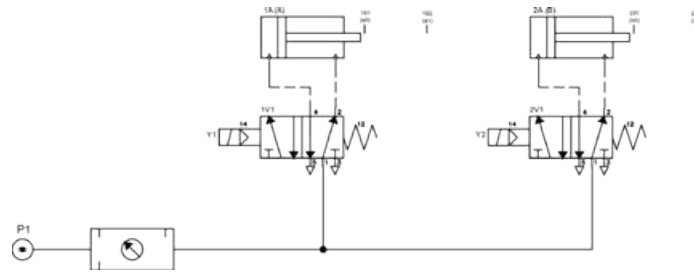
Indirizzo	Tipo	Riferimento	Descrizione
Q0.0	Bool	K1	Relè interfaccia contattore KM1 nastro trasportatore
Q0.1	Bool	K2	Relè interfaccia contattore KM2 tavola rotante
Q0.2	Bool	K3	Relè interfaccia contattore KM3 pompa a vuoto
Q0.3	Bool	K4	Relè interfaccia contattore KR1 riscaldatore
Q0.4	Bool	Y1	Elettrovalvola apertura porta
Q0.5	Bool	Y2	Elettrovalvola reimmissione aria
Q0.6	Bool	H4	Lampada segnalazione macchina in funzione (verde)
Q0.7	Bool	H5	Lampada segnalazione fine fase carico (blu)
Q1.0	Bool	H6	Lampada segnalazione fase metallizzazione (verde)
Q1.1	Bool	H7	Lampada segnalazione fine fase metallizzazione (blu)
AQ0	Int		Tensione di riferimento inverter

Le lampade di colore blu, rispettivamente H5 e H7, indicano che deve essere eseguita obbligatoriamente una operazione da parte dell'operatore. Nel caso della lampada H5 l'operatore deve premere il pulsante P3 per chiudere la porta e avviare la fase di metallizzazione, mentre nel caso della lampada H7 l'operatore deve prima premere di nuovo il pulsante P3 per aprire la porta e procedere alla fase di scarico degli oggetti metallizzati.

Una volta redatte le tabelle di assegnazione degli ingressi e delle uscite vengono proposti lo schema elettrico di potenza (**figura 1.1**), lo schema pneumatico di potenza (**figura 1.2**), lo schema elettrico di comando 24 V AC (**figura 1.3**) e lo schema elettrico di comando 24 V DC (**figura 1.4**). Nei vari schemi sono state riportate per completezza le numerazioni dei morsetti che possono essere tranquillamente omesse in sede di esame.

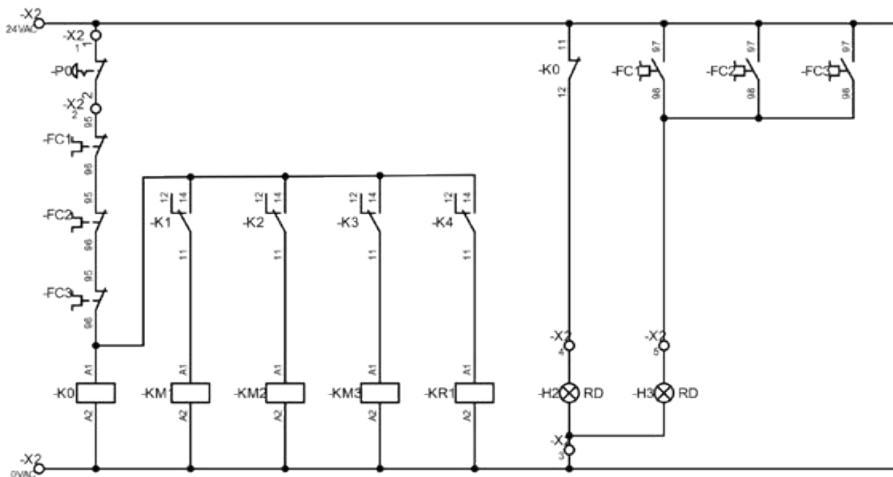


**Figura 1.1**  
Schema elettrico di potenza  
dell'impianto di metallizzazione.



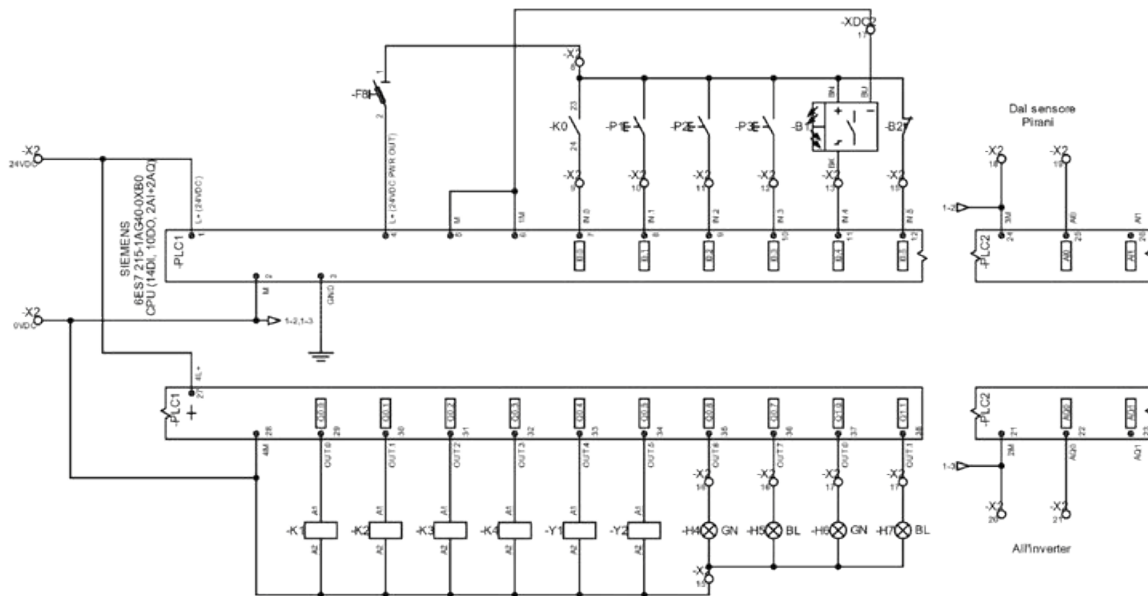
**Figura 1.2**  
Schema pneumatico di  
potenza dell'impianto di  
metallizzazione.

In particolare, le bobine KM1, KM2 e KM3 dei contattori dei motori e la bobina KR1 del contattore del gruppo di resistenze trifase (figura 1.1), tutte alimentate a 24 V AC, sono comandate dai contatti NO dei relè di interfaccia K1, K2, K3 e K4 riportati nello schema elettrico di comando 24 V AC di figura 1.3.



**Figura 1.3**  
Schema elettrico di comando  
24 V AC dell'impianto di  
metallizzazione.

Dallo schema di comando 24 V DC di figura 1.4 si nota che non si è ritenuto necessario applicare al sensore Pirani un circuito di condizionamento poiché esso è collegato all'ingresso analogico AI0 della CPU 1215 che accetta valori di tensione compresi tra 0 V e 10 V. Il range di uscita del sensore (0,5 ÷ 8,5 V) risulta pienamente compreso in questo intervallo, utilizzandolo per l'80%.



**Figura 1.4**  
Schema elettrico di comando 24 V DC dell'impianto di metallizzazione.

La protezione dalle sovracorrenti della linea di alimentazione del m.a.t. che aziona la tavola rotante è stata affidata per il **cortocircuito** ai **fusibili del sezionatore portafusibili F3** e per i **sovraccarichi** al **relè termico FC3**. Per il dimensionamento delle protezioni occorre calcolare la corrente di impiego  $I_b$  della linea, pari, nel caso di funzionamento continuo, alla corrente nominale del motore.

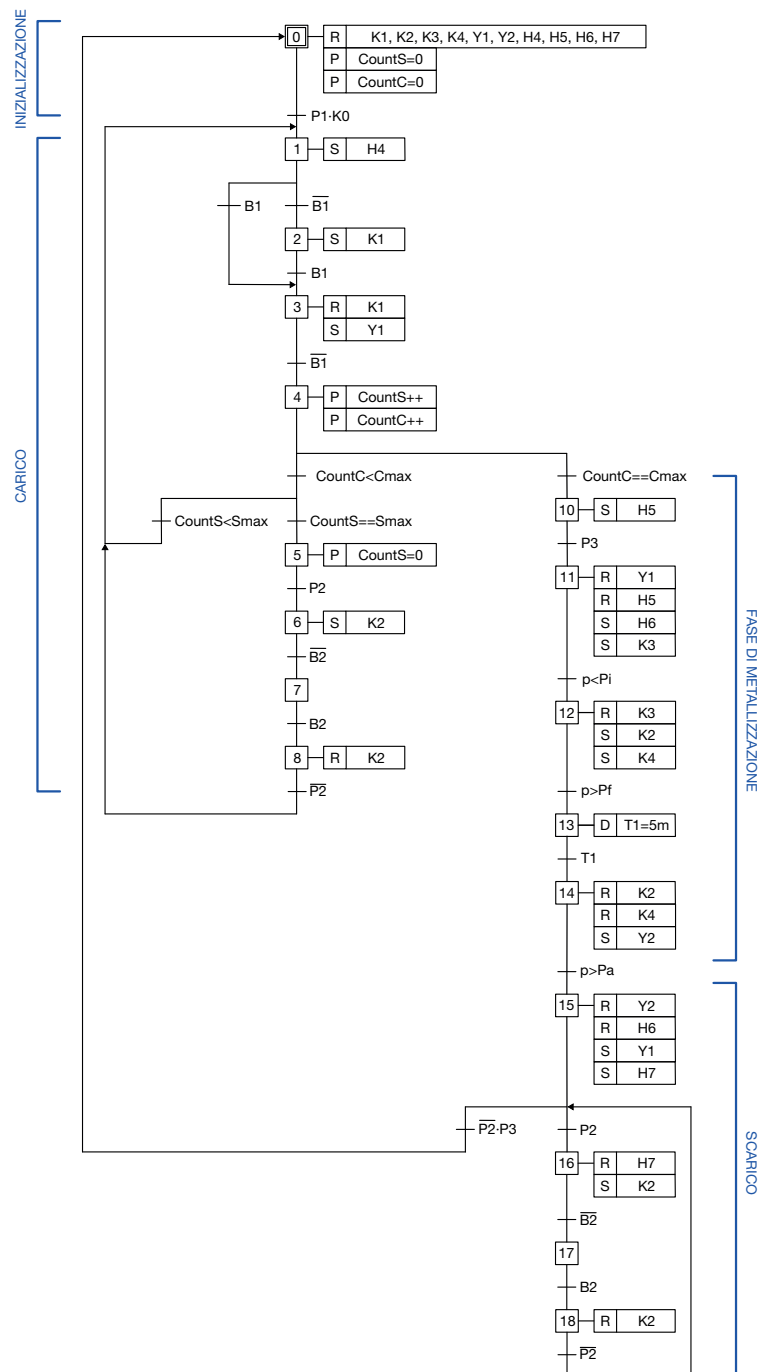
$$I_b = \frac{P_{an}}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi_n} = \frac{P_n}{\sqrt{3} V_n \eta_n \cos \varphi_n} = \sqrt{3} \times 400 \times 0,867 \times 0,81 = 4,53 \text{ A}$$

Per quanto riguarda la protezione da cortocircuiti, data l'esiguità del carico, si opta per un sezionatore portafusibile trifase con corrente nominale da 20 A per fusibili cilindrici di calibro 31,5 x 8,5. I fusibili vengono scelti del tipo aM, a campo ridotto per protezione motori, con corrente nominale  $I_n = 6 \text{ A}$ , in grado di non intervenire per correnti di spunto fino a  $kI_n$  con  $k$  pari o maggiore a 10.

Per quanto riguarda la protezione dai sovraccarichi, essa è affidata a un relè termico, con campo di taratura 4,5 – 6,5 A (tabella X.8.5 manuale di Elettrotecnica Elettronica e Automazione, Hoepli, seconda edizione).

### Richiesta C

Per la rappresentazione dell'algoritmo di gestione del funzionamento della macchina si intende ricorrere a un diagramma SFC (figura 1.5) che si presta molto bene a rappresentare le sequenze operative delle macchine automatizzate.



**Figura 1.5**  
Diagramma SFC  
dell'algoritmo di  
gestione.

Riguardo alle soglie del segnale in pressione occorre tenere presente che al valore di 0,0001 mbar, che deve essere raggiunto nella fase iniziale del processo di metallizzazione, corrisponde un valore di tensione di ingresso  $V_i$  pari a:

$$V_i = \log_{10} 10^{-4} + 5,5 = 1,5 \text{ V}$$

Mentre al valore di 0,000105 mbar, corrispondente a un aumento della pressione pari al 5% in più rispetto al valore 0,0001 mbar, corrisponde una tensione di ingresso  $V_f$  pari a:

$$V_f = \log_{10}(1,05 \cdot 10^{-4}) + 5,5 = 1,521 \text{ V}$$

Sapendo che la pressione atmosferica media a livello del mare è di 1013 mbar, si è considerato opportuno il valore di 800 mbar per ritenere raggiunta una pressione prossima a quella atmosferica nella camera a vuoto, durante la fase terminale. A tale valore corrisponde una tensione  $V_a$  pari a:

$$V_a = \log_{10}(800) + 5,5 = 8,403 \text{ V}$$

Qui di seguito si propone una implementazione dell'algoritmo di gestione in linguaggio Ladder (figure T1.6 – 10).

Default tag table								
	Name	Data type	Address	Retain	Access...	Writa...	Visibl...	Comment
1	K0	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	relè di emergenza
2	P1	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	pulsante avvio ciclo
3	P2	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	pulsante rotazione tavola
4	P3	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	pulsante chiusura porta
5	B1	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Fotocellula presenza oggetto
6	B2	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Finecorsa satellite
7	B3	Word	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Segnale di pressione
8	K1	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Relè contattore KM1 (nastro trasportatore)
9	K2	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Relè contattore KM2 (tavola rotante)
10	K3	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Relè contattore KM3 (pompa a vuoto)
11	K4	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Relè contattore KR1 (riscaldatore)
12	Y1	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Elettrovalvola apertura porta
13	Y2	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Elettrovalvola reimmissione aria
14	H4	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Segnalazione verde macchina in funzione
15	H5	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Segnalazione blu camera a vuoto riempita
16	H6	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Segnalazione verde metallizzazione in corso
17	H7	Bool	%Q1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Segnalazione blu camera a vuoto da svuotare
18	STEP	Byte	%MB10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Stato SFC attuale
19	NEW_STEP	Byte	%MB11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Stato SFC futuro
20	Pressure	Real	%MD14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Pressione della camera a vuoto
21	CountS	Int	%MW12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Conteggio pezzi per satellite
22	CountC	Int	%MW18	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Conteggio pezzi totale

Figura 1.6

Tabella delle variabili del codice Step 7 Ladder dell'algoritmo di gestione.

DB									
	Name	Data...	Start v...	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Smax	Int	8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Massimo valore di pezzi in un satellite
3	Cmax	Int	32	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Massimo valore di pezzi nella camera a vuoto
4	Pi	Real	1.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pressione iniziale
5	Pf	Real	1.521	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pressione fase di metallizzazione
6	Pa	Real	8.403	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pressione atomsferica

Figura 1.7

Tabella dei parametri del codice Step 7 Ladder dell'algoritmo di gestione.



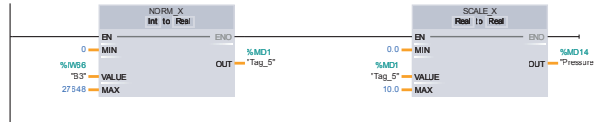
## Startup [OB100]

Network 1: Step initialization



## Main [OB1]

Network 1: Conversione segnale di pressione



Network 2: Transizioni e azioni mantenute (Se R)

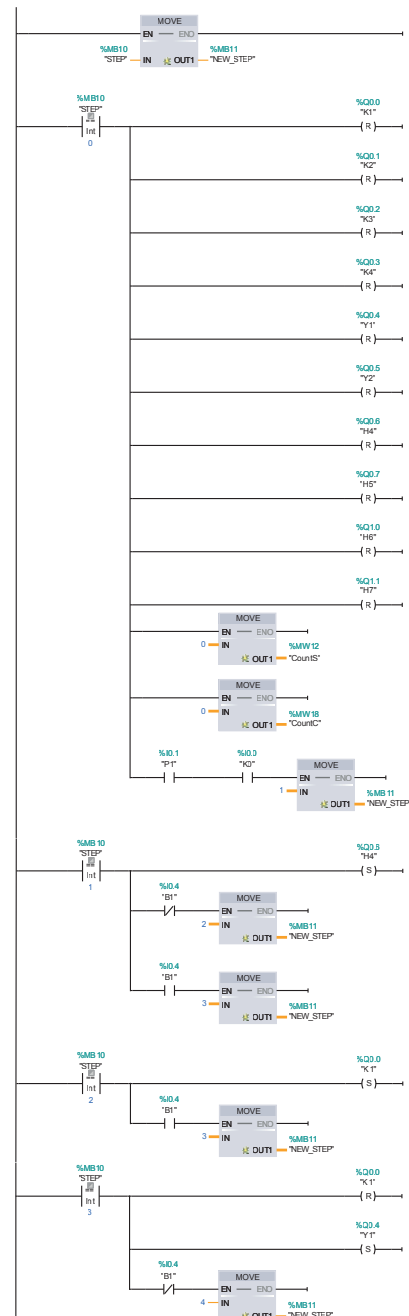
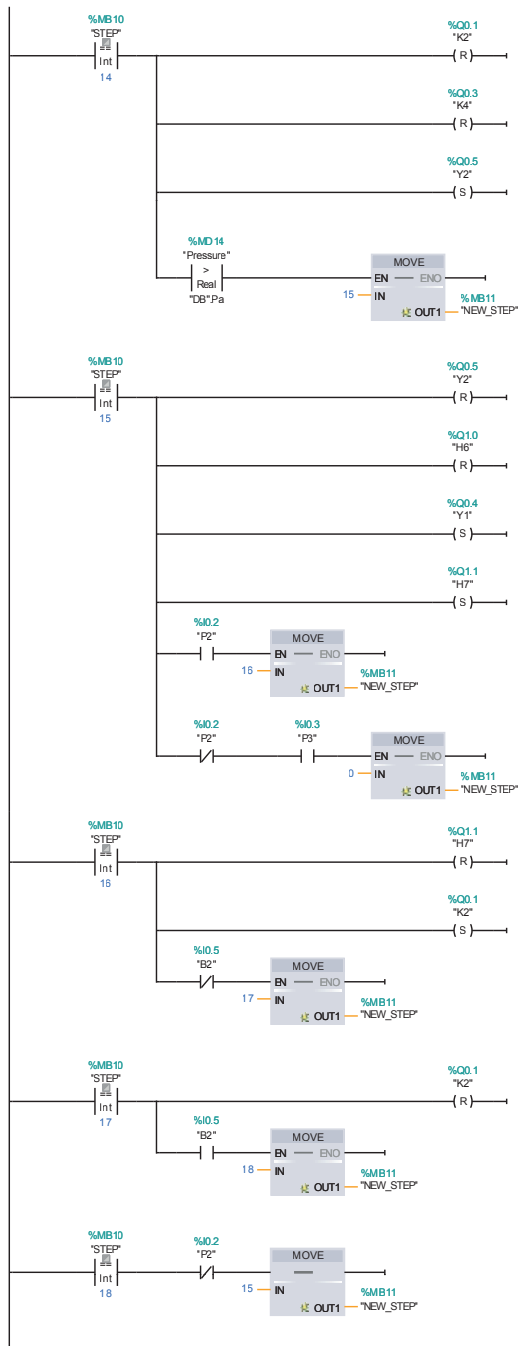


Figura 1.8

Codice Step 7 Ladder dell'algoritmo di gestione (prima parte).





Network 3: Emergenza



Network 4: Aggiornamento stato

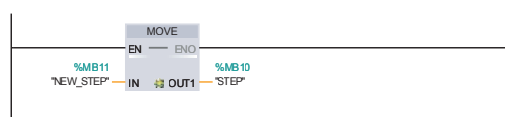


Figura 1.10

Codice Step 7 Ladder dell'algoritmo di gestione (terza parte).

### Richiesta D

La sezione di circuito indicata gestisce l'alimentazione dell'inverter e le eventuali condizioni di emergenza associate al suo funzionamento.

In particolare, la pressione del pulsante S1 determina la chiusura dei contatti di potenza del contattore K1, automantenuta dal contatto ausiliario K1 (morsetti 13 e 14), connettendo in questo modo l'inverter alla rete. La pressione del pulsante d'emergenza S2 (fungo rosso) o l'intervento del relè di guasto KA causano la disconnessione dell'inverter dalla rete.

Si tratta di un circuito di comando alimentato a 24 V AC tramite il trasformatore monofase T1, protetto dai due fusibili presenti nel portafusibili F1 che svolge anche la funzione di sezionamento del circuito di comando come richiesto dalla norma CEI EN 60204-1. In base alla stessa norma, uno dei poli secondari del trasformatore viene posto a terra mentre l'altro è dotato della protezione mediante il fusibile F2. Ciò viene effettuato per evitare che eventuali guasti a terra che interessano parti del circuito di comando possano procurare connessioni intempestive dell'inverter alla rete o impedire l'azione del comando di emergenza S2 o del relè di guasto K2. La rete RC, denominata "snubber", posta in parallelo alla bobina del contattore serve ad assorbire le sovratensioni da essa prodotte in fase di commutazione.

Per determinare il range della tensione  $v$  da applicare all'ingresso di riferimento dell'inverter affinché la velocità di rotazione della tavola rispetti i vincoli  $n_{2min}$  e  $n_{2max}$  sulla velocità angolare della tavola indicati dal testo, occorre tenere presente che:

$$n_1 = n_2 i$$

e che:

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

Da cui, tenendo conto che  $v = f / 5$ , si ottiene il legame diretto tra la velocità  $n_2$  della tavola e la tensione  $v$  da applicare all'inverter per ottenerla

$$v = \frac{pi}{300} n_2$$

e, poiché:

$$n_1 = n_2 i$$

Pertanto:

$$v_{min} = \frac{pi}{300} n_{2min} = \frac{2 \cdot 40}{300} \cdot 20 = 5,3 \text{ V}$$

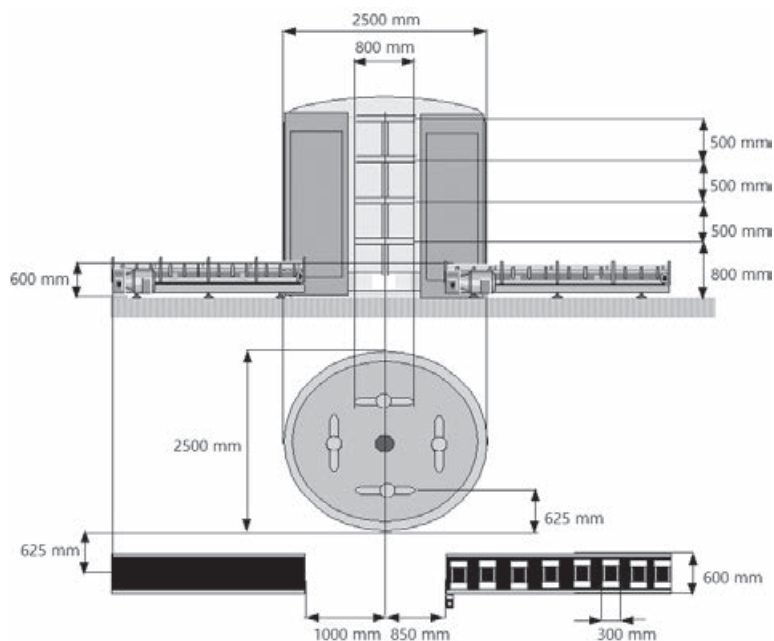
$$v_{max} = \frac{pi}{300} n_{2max} = \frac{2 \cdot 40}{300} \cdot 30 = 8 \text{ V}$$

## SECONDA PARTE

### Quesito 1

Al fine di migliorare la produttività e la sicurezza dell'impianto, si desidera automatizzare il processo di carico e scarico degli oggetti sui satelliti avvalendosi di un sistema robotizzato. Ciò premesso, con riferimento ai disegni quotati a lato, il candidato individui:

- la catena cinematica di un manipolatore in grado di raggiungere con il centro flangia i tappeti dei nastri (nei punti di *Pick* per il nastro di alimentazione e di *Place* per il nastro di scarico) e le otto estremità del satellite;
- le lunghezze dei singoli bracci che costituiscono la catena cinematica, calcolando conseguentemente il volume di lavoro del manipolatore.



### Soluzione

Si ritiene opportuno utilizzare per il processo di carico e scarico un **robot cartesiano**, ossia un robot manipolatore a catena cinematica aperta del tipo PPP, in cui i primi tre gradi di libertà X, Z e Y della **struttura portante** sono garantiti da giunti di tipo prismatico (P). La scelta rispetto a un eventuale robot di tipo antropomorfo, più costoso, è dettata da uno spazio di manovra abbastanza ampio e privo di ostacoli da aggirare, gestibile anche con un robot cartesiano.

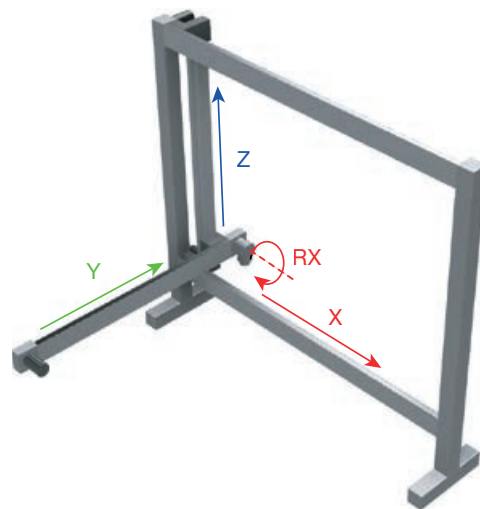
Per la scelta degli ulteriori giunti necessari per garantire l'orientamento dell'organo terminale (*end effector*) connesso alla flangia i dati a disposizione non sono sufficienti per definire con sicurezza il numero e il tipo. Molto probabilmente si renderà necessario almeno un altro giunto rotoideale per facilitare le operazioni di carico degli oggetti sulle estremità del satellite e il loro successivo scarico ma mancando informazioni sulla conformazione degli oggetti non si possono fornire indicazioni più dettagliate.

I robot cartesiani possono avere fondamentalmente due configurazioni: a **portale** e a **montante**. Il robot cartesiano a **portale** (*gantry*) presenta un volume di lavoro molto ampio associato a una elevata precisione di posizionamento; formato da una struttura molto rigida, esso è particolarmente indicato per movimentazione di carichi pesanti e di notevoli dimensioni, come nel caso del taglio di lamiere. Nel robot cartesiano a **montante** (*cantilever*) la struttura portante lavora a sbalzo, sottoponendo i giunti prismatici a un considerevole sforzo di flessione. Pertanto, il *payload* e il volume di lavoro del robot sono più ridotti rispetto alla configurazione a portale. Questo tipo di struttura ha però il pregio di poter essere facilmente utilizzata, a differenza del portale, per il carico e lo scarico di pezzi in lavorazione dalla macchina utensile o in operazioni di pallettizzazione.

Pertanto, per quanto riguarda la catena cinematica la scelta ricade su un **robot cartesiano con struttura portante a portale per l'asse X e a montante per gli assi Z e Y** con eventuali ulteriori giunti rotoideali per la struttura del polso, del tipo riportato nella **figura 1.11**.

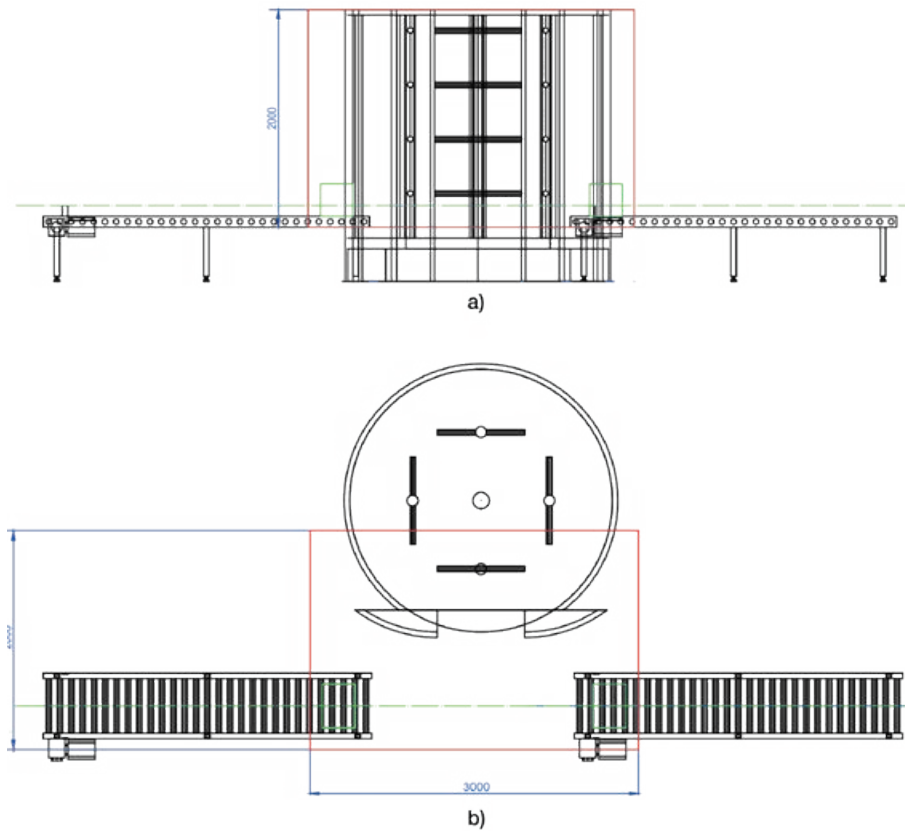
Le lunghezze dei singoli bracci X, Y e Z che costituiscono la catena cinematica devono essere almeno uguali alle lunghezze dei rispettivi spigoli del volume di lavoro a forma di parallelepipedo riportate nella **figura 1.12**.

Il volume di lavoro del robot cartesiano è stimato pari a  $V = 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 12 \text{ m}^3$ . Si riporta in **figura 1.13** la renderrizzazione di un modello dell'impianto, realizzata mediante il software *AutoDesk Fusion* e disponibile nel file disponibile online, in cui è evidenziato il volume di lavoro del robot cartesiano.



**Figura 1.11**  
Esempio di robot cartesiano a montante a 4 assi, di cui il quarto connesso al terzo con giunto rotoideale.





**Figura 1.12**

Vista frontale (a) e in pianta (b) del volume di lavoro del robot cartesiano, riportato in rosso. Le quote riportate sono espresse in millimetri.



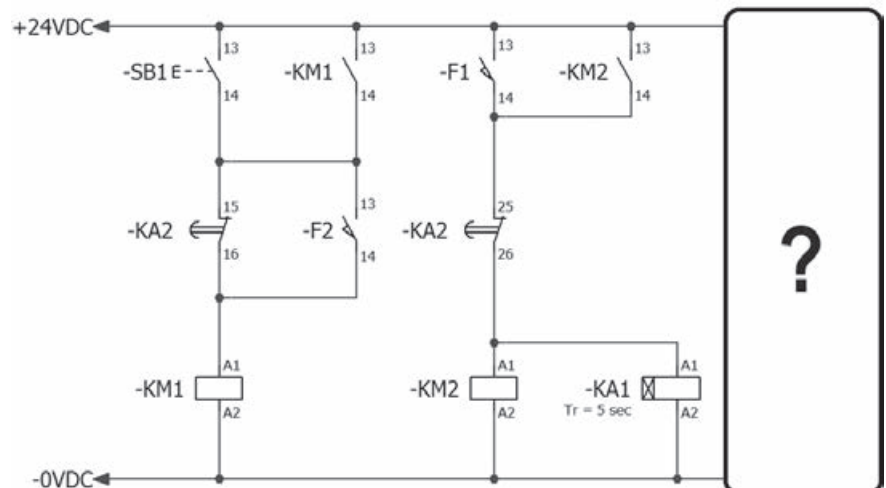
**Figura 1.13**

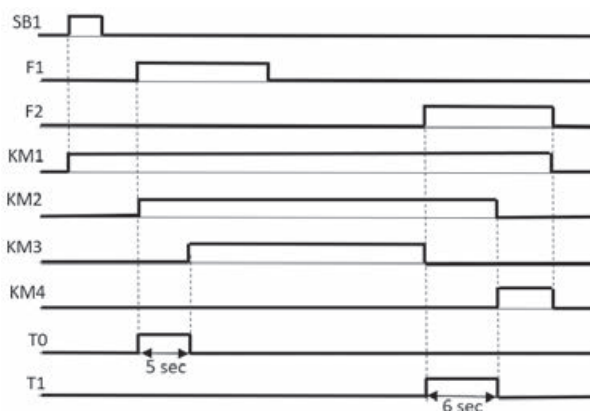
Renderizzazione dell'impianto di metalizzazione con evidenziato il volume di lavoro del robot cartesiano.

## Quesito 2

Una parte dello schema elettrico in logica cablata di un impianto è rappresentato in figura.

Il candidato individui e rappresenti la parte mancante dello schema, al fine di ottenere il funzionamento previsto nel relativo diagramma di temporizzazione.





### Soluzione

Si propone in **figura 1.14** lo schema elettrico della parte di comando richiesta.

### Quesito 3

La normativa sulla sicurezza dei lavoratori richiede che l'azienda effettui la valutazione dei rischi connessi al proprio processo produttivo, formalizzandoli nel Documento di Valutazione dei Rischi (DVR). Il candidato, dopo aver chiarito il concetto di rischio, esponga quali sono le parti essenziali che devono comparire nel DVR e quali sono le figure responsabili della sua redazione.

### Soluzione

Per definire il concetto di rischio occorre partire dalle definizioni di pericolo e di danno.

Riguardo al concetto di **pericolo** la norma **UNI EN 292**, nella parte I "Sicurezza del macchinario. Concetti fondamentali, principi generali di progettazione. Terminologia, metodologia di base", definisce pericolo una fonte di possibili lesioni o danni alla salute; il termine "pericolo" è generalmente usato insieme ad altre parole che definiscono la sua origine o la natura della lesione o del danno alla salute previsti (pericolo di elettrocuzione, di schiacciamento, di cesoiamento, di intossicazione ecc.).

Per danno si intendono le possibili lesioni o malattie che possono verificarsi per un'esposizione al pericolo che compromettono la salute del lavoratore.

Quindi, il rischio si manifesta, in una situazione pericolosa, come la combinazione di **probabilità** e di **gravità** del danno. Infatti, il D.L. 81/08, che rappresenta il riferimento normativo principale in materia di sicurezza sul lavoro, definisce il rischio, come la **probabilità** di raggiungimento del livello potenziale di **danno** nelle condizioni di impiego o di esposizione a un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione.

La **probabilità** che si verifichi un danno è correlata alla frequenza e alla durata dell'esposizione del lavoratore mentre il **danno** è una lesione o un'alterazione dello stato di salute del lavoratore per l'esposizione a un determinato pericolo.

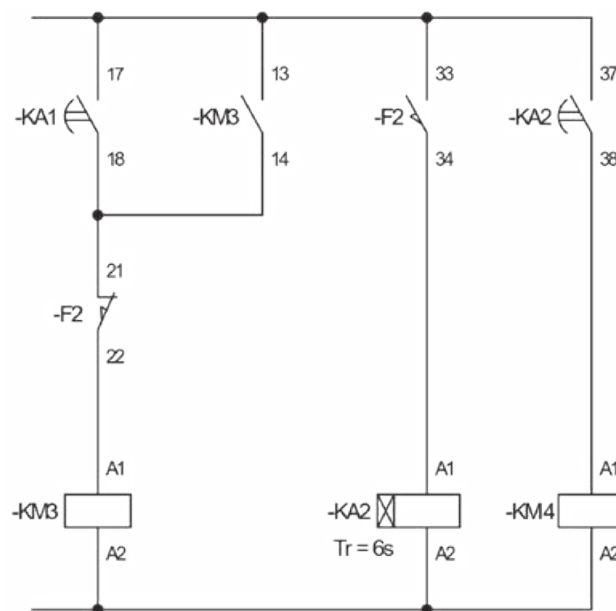
Il rischio, pertanto, può essere espresso anche attraverso una funzione  $f$  del tipo:  $R = f(P, D)$

dove:

- $R$  = magnitudo del rischio;
- $P$  = probabilità che si verifichi il danno;
- $D$  = magnitudo del danno, ovvero livello di danno ipotizzabile.

Spesso si traduce la funzione  $f$  nella seguente relazione:  $R = P \cdot D$

Uno dei metodi per esprimere  $P$  e  $D$ , e quindi per misurare  $R$ , fa uso di un'analisi matriciale mediante scale di probabilità e di gravità del danno.



**Figura 1.14**

Completamento dello schema elettrico in logica cablata.

Dopo aver inquadrato quindi il concetto di rischio definendo i termini che lo connotano, pericolo e danno, si introduce la **valutazione dei rischi** definita dal D.L. 81/08 come una valutazione globale e documentata di tutti i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori presenti nell'ambito dell'organizzazione in cui essi prestano la propria attività, finalizzata a individuare le adeguate misure di prevenzione e protezione e a elaborare il programma delle misure atte a garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di salute e di sicurezza.

La valutazione dei rischi è un processo sequenziale, dinamico e ciclico che opera per fasi.

Uno degli esiti della valutazione dei rischi è la produzione del Documento di Valutazione dei Rischi.

Il documento deve contenere:

- una relazione sulla valutazione di tutti i rischi per la sicurezza e la salute connessi all'attività lavorativa;
- l'indicazione delle misure di prevenzione e protezione attuate e dei dispositivi di protezione individuali adottati;
- il programma delle misure ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza;
- l'individuazione delle procedure per l'attuazione delle misure da realizzare nonché dei ruoli dell'organizzazione aziendale che vi devono provvedere;
- il nominativo del responsabile del servizio di prevenzione e protezione, del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza e del medico competente che ha partecipato alla valutazione del rischio;
- l'individuazione delle mansioni che eventualmente espongono i lavoratori a rischi specifici che richiedono una riconosciuta capacità professionale, specifica esperienza, adeguata formazione e preventiva conoscenza del contesto lavorativo.

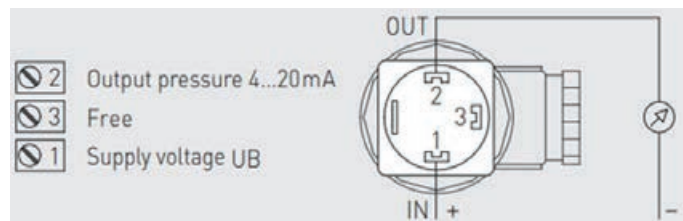
Il DVR viene redatto dal Datore di Lavoro con la collaborazione principale del Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione e il contributo del Medico Competente e del Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza.

- Datore di Lavoro: responsabile della redazione e dell'aggiornamento del DVR, garantendo conformità alla normativa e adeguatezza alle condizioni aziendali.
- Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione (RSPP): collabora nell'individuazione e valutazione dei rischi e nell'elaborazione delle misure di prevenzione.
- Medico Competente: supporta la valutazione dei rischi per la salute e contribuisce alle misure di sorveglianza sanitaria.
- Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS): partecipa alla consultazione e fornisce un punto di vista dei lavoratori.

#### Quesito 4

Nelle applicazioni industriali sono utilizzati frequentemente segnali in corrente per la trasmissione di informazioni verso il controllore di processo. Il candidato, sulla base delle proprie conoscenze e competenze, illustri le principali caratteristiche di tali segnali rispetto a quelli in tensione descrivendo vantaggi e svantaggi.

Successivamente disegni il circuito che permette di interfacciare un sensore di pressione dalle caratteristiche rappresentate in figura a un controllore che dispone di un unico ingresso analogico in tensione riferito a massa (RSE) e impedenza di ingresso  $\geq 100 \text{ k}\Omega$ .



Supponendo che il convertitore ADC presente nel controllore sia a 14 bit con range  $\pm 10$  Volt determini infine, corrispondentemente al circuito ipotizzato, la pressione misurata dal sensore qualora il valore numerico generato dal convertitore sia pari a 3560 d.

DATI TECNICI	
Alimentazione di tensione:	7 - 33V DC(UB) con uscita 4...20 mA
Range di misura:	0... 6 bar
Uscita:	4...20 mA, 2 conduttori (carico $< (UB(V) - 7V) / 0,02A$ ; $R_L$ varia a seconda del carico

#### Soluzione

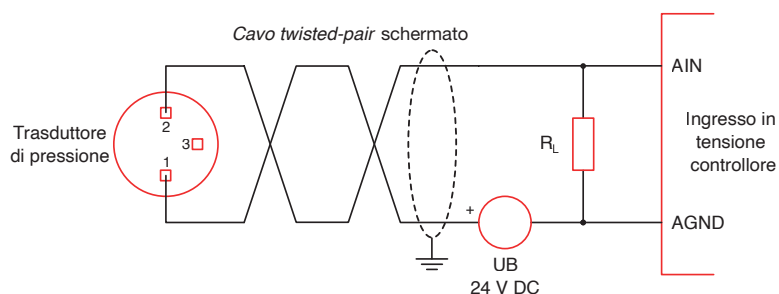
In ambito industriale la trasmissione analogica dei segnali avviene utilizzando prevalentemente due standard:

1. in tensione ( $0 \div 10 \text{ V}$ );
2. in anello di corrente, o *current loop*, ( $4 \div 20 \text{ mA}$ ).

La seconda opzione, pur più onerosa, offre almeno due vantaggi:

- garantisce l'integrità del segnale soprattutto su tratte molto lunghe, perché non presenta il problema della caduta di tensione come nella trasmissione in tensione;
- è più immune alle interferenze elettromagnetiche (EMI, *electromagnetic interferences*) a cui sono sottoposti i cavi di segnale soprattutto quando devono utilizzare percorsi in cui sono presenti anche cavi per energia.

In **figura 1.15** si propone lo schema elettrico di una possibile soluzione al problema della conversione da segnale in *current loop* 4 ÷ 20 mA a segnale in tensione 0 ÷ 10 V, problematica tipica in ambito industriale e per la quale alcuni produttori mettono a disposizione appositi dispositivi di interfaccia.



**Figura 1.15**  
Schema elettrico delle connessioni che convertono il segnale in *current loop* 4 ÷ 20 mA in un segnale in tensione 0 ÷ 10 V.

Si ipotizza che il sensore venga alimentato a 24 V DC, valore tipico per le applicazioni industriali. Tenendo conto di quanto riportato nei dati tecnici, la resistenza di carico  $R_L$  deve essere inferiore al seguente valore:

$$R_L < \frac{24 - 7}{0,02} = 850 \, \Omega$$

Per ottimizzare il range di tensione in ingresso al controllore si sceglie  $R_L = 500 \, \Omega$  in modo che con 20 mA di segnale in corrente si ottengano 10 V di segnale in tensione. Per garantire un'adeguata precisione si può optare per un valore commerciale 499 R serie E96, E192 oppure per due resistenze in parallelo da 1 k $\Omega$ .

In entrambi i casi si opta per resistori di precisione da ½ W 0,1% 15 ppm/°C, o migliori.

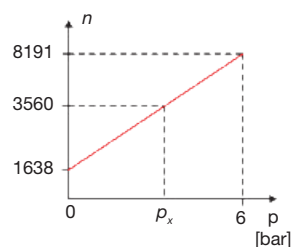
Con una pressione di 0 bar si ottiene una tensione in ingresso di  $500 \cdot 0,004 = 2$  V mentre con una pressione di 6 bar si ottiene una tensione di  $500 \cdot 0,02 = 10$  V. Quindi, nel caso del convertitore ADC a 14 bit con range  $\pm 10$  V, dopo aver tolto un bit di segno e ipotizzando che il trasduttore abbia una caratteristica lineare, si ha che il valore numerico in uscita dall'ADC corrispondente a 6 bar è pari a:

$$n_{6\text{bar}} = 2^{13} - 1 = 8191$$

Mentre, nel caso di una pressione di 0 bar il valore numerico in uscita dal convertitore è proporzionalmente pari alla parte intera di  $n_{6\text{bar}}$ , quindi:

$$n_{0\text{bar}} = \text{int}\left(\frac{2}{10}(2^{13} - 1)\right) = 1638$$

In **figura 1.16** è riportata la caratteristica di conversione dal valore di pressione al corrispondente valore numerico in uscita dal convertitore.



**Figura 1.16**  
Caratteristica del sistema di acquisizione della pressione.

Essa è una retta di equazione:

$$n = m \cdot p + q = \frac{8191 - 1638}{6} \cdot p + 1638 \cong 1092 \cdot p + 1638$$

Pertanto:

$$p_x = \frac{n - 1638}{1092} = \frac{3560 - 1638}{1092} = 1,76 \text{ bar}$$

dove  $p_x$  è il valore di pressione corrispondente al valore intero 3560 generato dal convertitore.