

ANNO SCOLASTICO 2017-2018
ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE
Indirizzo: ITET – ELETTROROTECNICA ED ELETTRONICA
ARTICOLAZIONE ELETTROROTECNICA

Tema di: SISTEMI AUTOMATICI

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

PRIMA PARTE

All'interno di un prosciuttificio è presente una stazione di smistamento dei prosciutti per procedere alle operazioni di marchiatura selezione per la vendita e timbratura.

I prosciutti vengono posti su un nastro trasportatore e arrivano su una piattaforma girevole e provvista di una cella di carico con portata di fondo scala pari a 150 N, dove vengono pesati e successivamente distribuiti in funzione del loro peso.

Il nastro trasportatore di arrivo alla piattaforma si ferma per 5 secondi per permettere l'operazione di pesatura, al termine della quale, in base al peso, il prosciutto viene smistato.

I prosciutti di peso inferiore a 5 kg vengono convogliati verso uno scivolo di raccolta posto a 180° per destinarli ad altri usi.

Gli altri vengono indirizzati verso due nastri trasportatori, posti rispettivamente a 90° e 270° rispetto al nastro di arrivo attorno alla piattaforma.

In particolare se il peso è compreso tra 5 e 10 kg la base ruota di 90° verso destra, se il peso supera i 10 kg la base ruota di 90° verso sinistra.

Alla fine dei due nastri è posto un contenitore di raccolta, che una volta pieno determinerà un arresto temporaneo del sistema per permettere all'operatore la sua sostituzione.

La rotazione della piattaforma è affidata ad un opportuno motore, mentre lo spostamento del prosciutto dalla base ruotante alla linea di destinazione è affidato ad una serie di micro rulli solidali alla base rotante stessa e azionati da un ulteriore motore.

Ogni linea di smistamento è provvista di un opportuno sensore che permette il conteggio dei prosciutti commerciabili da quelli destinati ad altri usi.

Il candidato, fatte le ulteriori ipotesi aggiuntive che ritiene necessarie:

1. descriva l'impianto attraverso uno schema e individui i dispositivi necessari alla sua realizzazione, fornendo una tabella di I/O rappresentante i principali segnali elettrici di controllo;
2. rappresenti mediante un diagramma di flusso di propria conoscenza, l'algoritmo di gestione dell'impianto;
3. elabori il programma in grado di gestire l'automatismo utilizzando un sistema programmabile di propria conoscenza;
4. progetti un sistema in grado di effettuare una stima percentuale dei prosciutti commerciabili da quelli destinati ad altri usi.

Inoltre, il candidato progetti un idoneo sistema di segnalazioni luminose nelle fasi di movimentazione dei nastri, nonché i pulsanti di marcia e arresto dell'impianto.

SECONDA PARTE

QUESITO 1

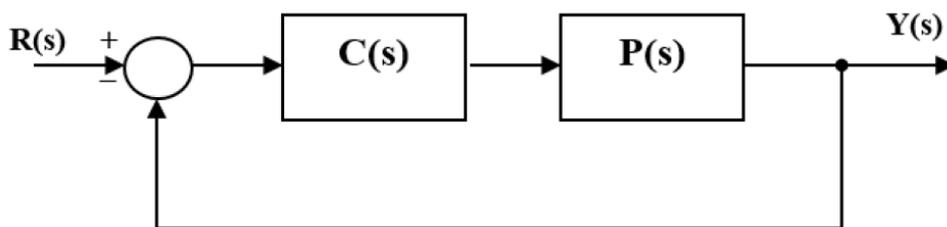
Con riferimento alla prima parte della prova, il candidato progetti un sistema per il controllo della temperatura del locale in cui è presente la stazione di smistamento in modo che siano garantite le corrette condizioni di conservazione nel caso in cui la temperatura superi una soglia prefissata T ($^{\circ}\text{C}$) azionando un opportuno sistema di ventilazione.

QUESITO 2

Il candidato, dopo aver discusso da quali parametri dipende la velocità di un motore trifase, descriva, dettagliandone gli aspetti principali, l'impiego dell'inverter per la modulazione della velocità con particolare riferimento alla tecnica PWM (Pulse Width Modulation).

QUESITO 3

Si consideri lo schema di controllo di figura



in cui

$$P(s) = \frac{2 \cdot 10^3}{s \cdot (s + 10)^2}$$

mentre il controllo $C(s)$ è di tipo Proporzionale – Derivativo.

Il candidato, dopo aver tracciato i diagrammi di Bode della funzione di trasferimento ad anello aperto con $C(s)=1$, progetti successivamente il controllore $C(s)$ in grado di garantire un margine di fase non inferiore a 45° .

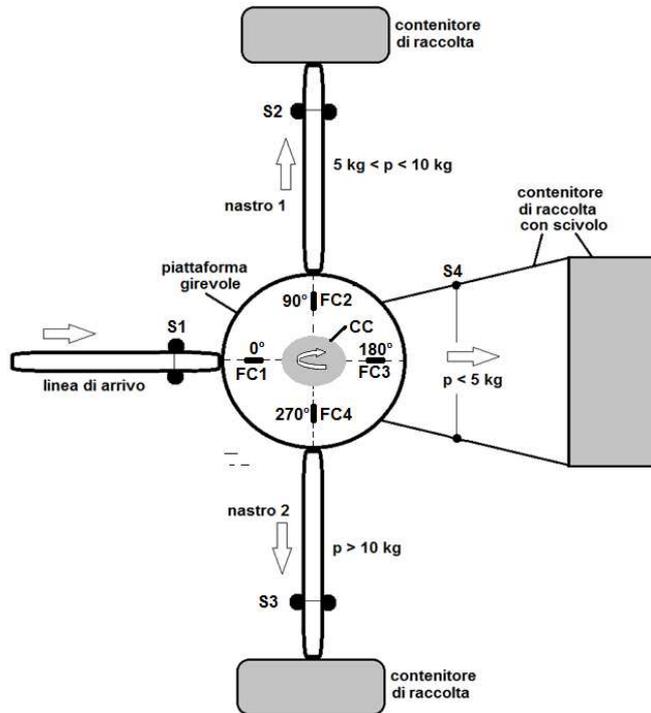
QUESITO 4

Con riferimento sia all'ambito civile che industriale, il candidato descriva le tipologie e le caratteristiche dei sistemi di controllo fornendo per ognuno di essi un esempio di applicazione sulla base delle proprie conoscenze.

soluzione PRIMA PARTE

1/1_Schema dell'impianto

Viene riportato in figura (per la lettura fare riferimento alla successiva tabella di I/O).

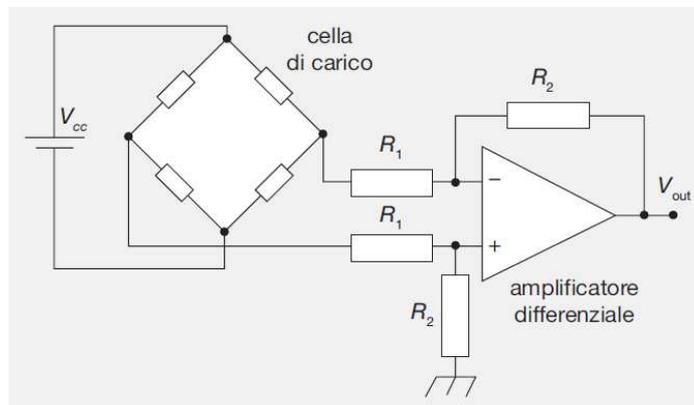


Nell'impianto sono presenti nove sensori di cui quattro fotocellule, una cella di carico e quattro finecorsa.

Una fotocellula rileva la presenza del prosciutto; come conseguenza il nastro si ferma come previsto per 5 s.

Le altre tre fotocellule rilevano la presenza dei prosciutti con la sola finalità di procedere al conteggio.

La cella di carico, utilizzata per la pesatura, necessita di un circuito di condizionamento come quello riportato in figura.



Una cella di carico ha l'uscita differenziale non riferita a massa; consegue la presenza di un amplificatore differenziale che può svolgere contemporaneamente anche la funzione di amplificare il segnale prodotto dal sensore che è di livello piuttosto basso.

Il guadagno dell'amplificatore dipende dalle caratteristiche della cella di carico. Poichè il valore di fondo scala è di 150 N (circa 15 kg), il circuito di condizionamento deve avere un guadagno tale da far corrispondere a tale valore una tensione di 10 V accettabile per ipotesi come valore massimo dal PLC che gestisce il sistema.

Come conseguenza ad un peso di 5 kg devono corrispondere 3,3 V circa, ad un peso di 10 kg devono corrispondere 6,6 V circa; a questi valori si deve fare di seguito riferimento nella stesura del programma.

Quattro finecorsa vengono utilizzati per fermare la piattaforma girevole durante la rotazione in corrispondenza di una delle quattro posizioni previste.

Per la movimentazione della piattaforma, dei nastri e dei micro rulli, in mancanza di informazioni specifiche relative al peso massimo da trasportare, proporzionale al numero di prosciutti caricati sui nastri, si può ipotizzare la presenza di motori asincroni trifase di potenza opportuna, anche modesta.

In particolare per il motore della piattaforma deve essere prevista la possibilità di invertire il senso di rotazione in quanto la piattaforma stessa deve ruotare in senso orario per portarsi dalla posizione iniziale (in linea con la linea di arrivo) alla posizione finale (quella corrispondente ai nastri 1 e 2 o allo scivolo).

TABELLA DI I/O			
ingressi		uscite	
Sensore presenza prosciutti	S1	Motore linea arrivo	MOT1
Sensore conteggio nastro 1	S2	Motore micro rulli	MOT2
Sensore conteggio nastro 2	S3	Motore nastro 1	MOT3
Sensore conteggio scivolo	S4	Motore nastro 2	MOT4
Cella di carico	CC	Motore piattaforma avanti	MOT5a
Finecorsa posizione iniziale NA	FC1	Motore piattaforma indietro	MOT5b
Finecorsa 90° NA	FC2		
Finecorsa 180° NA	FC3		
Finecorsa 270° NA	FC4		

Comando e segnalazione

Per quanto riguarda il comando dell'impianto si può prevedere l'impiego di un pulsante di avvio e di un pulsante di stop utilizzati per avviare e interrompere il funzionamento dell'impianto in situazioni non di emergenza come ad esempio all'inizio o al termine della giornata lavorativa o per l'arresto temporaneo quando si rileva da parte degli operatori addetti la necessità di sostituire i contenitori di raccolta.

Si deve predisporre come da normativa anche un pulsante di emergenza (a fungo).

Per la segnalazione si possono ad esempio predisporre otto lampade diversamente colorate che evidenziano le condizioni tipiche in cui si trova l'impianto (pronto per l'utilizzo, nastri in movimento, pausa nastro linea di arrivo, sovraccarico termico di un motore).

TABELLA COMANDO E SEGNALAZIONE			
ingressi		uscite	
Pulsante avvio NA	PA	Lampada verde impianto pronto	L1
Pulsante stop NC	PS	Lampada gialla nastri in movimento	L2
Emergenza NC	PE	Lampada blu pausa nastro linea arrivo	L3
		Lampada rossa guasto sovraccarico MOT1	L4
		Lampada rossa guasto sovraccarico MOT2	L5
		Lampada rossa guasto sovraccarico MOT3	L6
		Lampada rossa guasto sovraccarico MOT4	L7
		Lampada rossa guasto sovraccarico MOT5	L8

1/2_Diagramma di flusso

La sequenza di funzionamento dell'impianto può essere sintetizzata utilizzando il diagramma di flusso riportato in figura.

Quando il sensore S1 rileva la presenza di un carico il nastro della linea di arrivo si ferma per 5 s per effettuare le operazioni di pesatura e trasporto del prosciutto sui rulli.

Il tempo a disposizione indicato nel testo per effettuare queste operazioni sembra alquanto ridotto; in mancanza di indicazioni più precise (in particolare quelle relative ai tempi necessari per la rotazione della piattaforma e per il trasporto sui rulli) si ritiene tale tempo solamente indicativo.

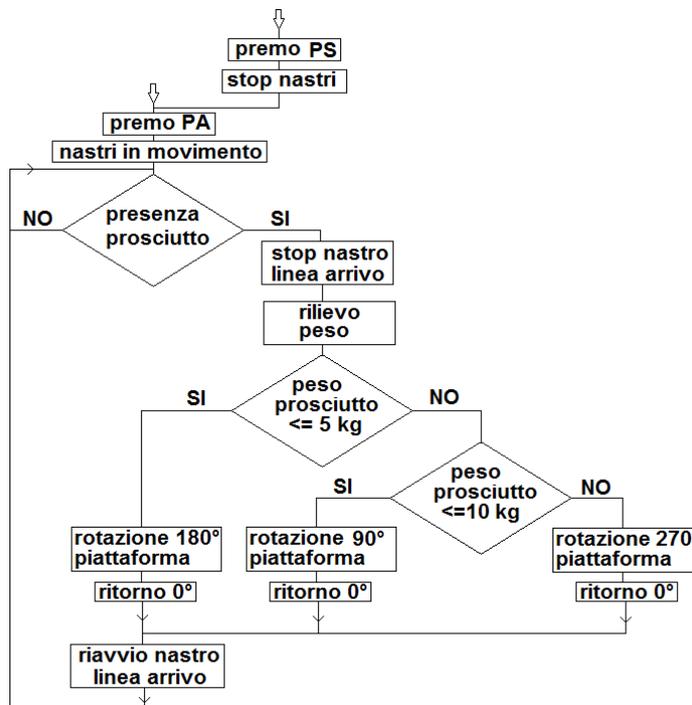
Nel diagramma a blocchi non è specificato il fatto che la rotazione della piattaforma è condizionata dalla presenza dei finecorsa; il motore utilizzato per la rotazione della medesima si muove a seguito della scelta del peso, si ferma quando incontra il finecorsa che corrisponde alla rotazione da effettuare e, dopo sosta di durata opportuna, si riavvia ritornando nella posizione iniziale.

Il ciclo si ripete per ogni carico rilevato dal sensore.

La successione dei cicli si arresta quando l'operatore preme il pulsante di stop perchè uno dei contenitori di raccolta risulta pieno.

La pressione del pulsante di stop deve essere condizionata al completamento di un singolo ciclo, ovvero non deve avere alcun effetto se avviene nel corso del tempo di sosta del nastro della linea di arrivo.

Quando il contenitore è stato sostituito l'operatore addetto preme nuovamente il pulsante di avvio e l'impianto riprende a funzionare.



1/3_Programma

La scelta più idonea, dal punto di vista applicativo, ricade in questo caso tipico di un controllo industriale, su un relè programmabile o su un controllore logico programmabile.

Altre soluzioni, in questo caso più didattiche che applicative, sono l'impiego di un PIC o di piattaforme come Arduino o Raspberry molto utilizzate in ambito scolastico.

Impiego di un relè programmabile commerciale Zelio prodotto da Schneider Electric.

Il programma di seguito realizzato può essere utilizzato, dopo aver apportato piccole modifiche, con altri controllori sia di Schneider Electric ma anche di Siemens e di Omron.

Il programma in linguaggio ladder di seguito proposto viene semplificato non tenendo in considerazione gli ingressi relativi ai tre sensori di conteggio e alle otto lampade di segnalazione.

La scelta del controllore adatto per simulare il funzionamento dell'impianto deve ricadere quindi su un dispositivo che abbia almeno nove ingressi (di cui uno analogico) e sei uscite. E' adatto allo scopo il controllore SR3B261BD le cui caratteristiche vengono riportate in figura.

Selezione corrente		Base	Estensioni non contigue	
Riferimento	SR3B261BD		1	Non selezionato
Alimentazione	24VDC			
Ingressi	10 DIGITALE + 6 (0-10V)			
Uscite	10 RELÈ			Estensioni
Orologio	Sì		1	Non selezionato
Lingua	Ladder		2	Non selezionato
Numero totale di ingressi/uscite		16 I / 10 O		

Le caratteristiche degli ingressi e delle uscite fisiche utilizzate nel programma vengono riportate nella figura sottostante.

L'ingresso IB, che viene indicato come digitale, diventa nel programma un ingresso analogico per la cella di carico con uscita confrontabile (tramite confronto analogico) con i valori di riferimento relativi al peso dei carichi.

Ingressi fisici

No	Simbolo	Funzione	Elenco	Parametri	Localizzazione (L/C)	Commento
I1		Ingressi digitali	--	Nessun parametro	(1/1)	emergenza
I2		Ingressi digitali	--	Nessun parametro	(2/1)	pulsante avvio
I3		Ingressi digitali	--	Nessun parametro	(2/2)	pulsante stop
I4		Ingressi digitali	--	Nessun parametro	(9/2)	senso re presenza carico
I5		Ingressi digitali	--	Nessun parametro	(14/3) (16/4) (18/3) (20/4) (22/3) (24/4)	finecors a 0
I6		Ingressi digitali	--	Nessun parametro	(18/4) (20/3)	finecors a 90
I7		Ingressi digitali	--	Nessun parametro	(14/4) (16/3)	finecors a 180
I8		Ingressi digitali	--	Nessun parametro	(22/4) (24/3)	finecors a 270
IB		Ingressi digitali	--	Nessun parametro	(10/2)	cella di carico

Uscite fisiche

No	Simbolo	Funzione	Latching	Localizzazione (L/C)	Commento
Q1		Uscite digitali	No	(5/6)	motore linea arrivo
Q2		Uscite digitali	No	(6/6)	motore micro rulli
Q3		Uscite digitali	No	(7/6)	motore nastro 1
Q4		Uscite digitali	No	(8/6)	motore nastro 2
Q5		Uscite digitali	No	(26/6) (29/5)	motore piattaforma avanti
Q6		Uscite digitali	No	(26/5) (29/6)	motore piattaforma indietro

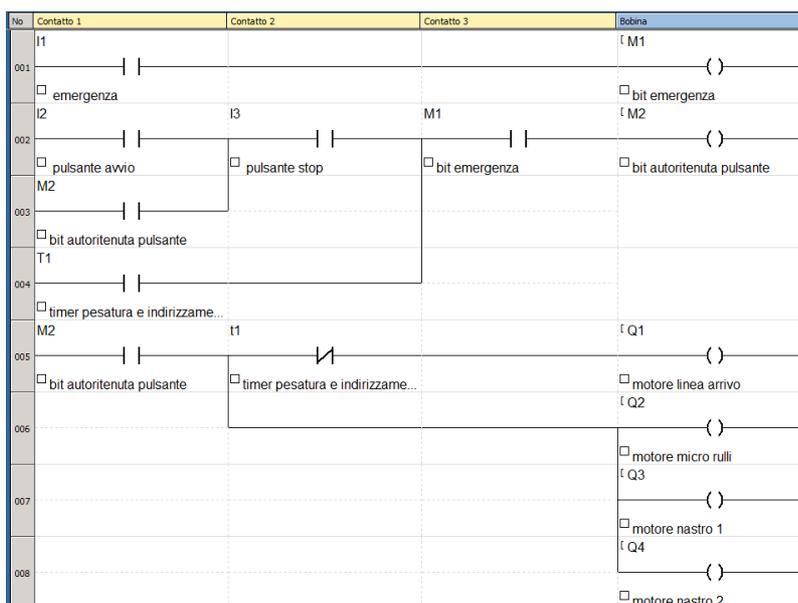
Nella figura che segue vengono riportate le caratteristiche delle funzioni parametrizzabili (confronto analogico, relè e temporizzatori).

Funzioni parametrizzabili

No	Simbolo	Funzione	Blocco	Latching	Parametri	Localizzazione (L/C)	Commento
A1		Confronto Analogico	No	---	lb >= 6.6	(13/3)	confronto >= 10 kg
A2		Confronto Analogico	No	---	lb <= 3.3	(11/4)	confronto <= 5 kg
A3		Confronto Analogico	No	---	lb >= 3.3	(12/3)	confronto > 5 kg
A4		Confronto Analogico	No	---	lb <= 6.6	(12/4)	confronto < 10 kg
A5		Confronto Analogico	No	---	lb > 1.0	(11/3)	confronto > peso minimo
A6		Confronto Analogico	No	---	lb <= 1.0	(10/3)	confronto <= peso mini..
M1		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(1/6) (2/3)	bit emergenza
M2		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(2/6) (3/1) (5/1) (9/1)	bit autoritenuta pulsante
M3		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(11/6) (14/2) (16/2)	bit <= 5 kg
M4		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(12/6) (18/2) (20/2)	bit da 5 kg a 10 kg
M5		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(13/6) (22/2) (24/2)	bit >= 10 kg
M6		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(14/6) (15/2) (27/1)	bit 180 A
M7		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(18/6) (19/2) (26/1)	bit 90 A
M8		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(22/6) (23/2) (28/1)	bit 270 A
M9		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(16/6) (17/2) (30/1)	bit 180 R
MA		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(20/6) (21/2) (29/1)	bit 90 R
MB		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(24/6) (25/2) (31/1)	bit 270 R
MC		Relè ausiliari	---	No	Nessun parametro	(10/6)	bit <= peso minimo
T1		Temporizzatori	No	No	Vedere dettagli più avanti	(4/1) (5/2) (9/6) (10/1) (14/1) (18/1) (22/1)	timer pesatura e indirizzame...

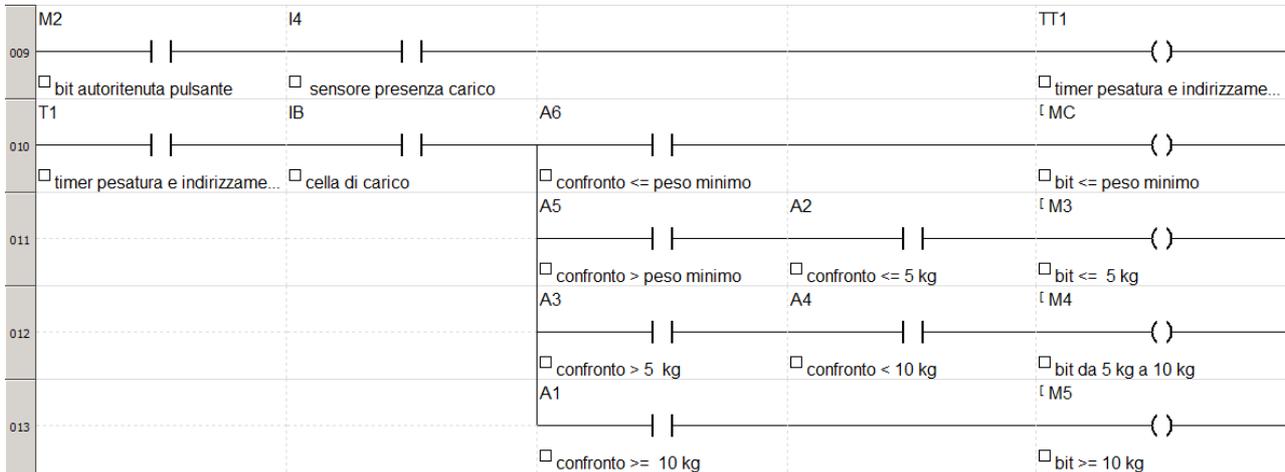
Nella primo blocco di programma di seguito riportato vengono azionati i motori dei nastri e dei rulli a seguito della pressione del pulsante di avvio.

La pressione del pulsante di stop ferma l'impianto (per il ricambio dei contenitori pieni) solo se è terminato il conteggio del temporizzatore (effetto prodotto dal contatto del timer posto in parallelo).

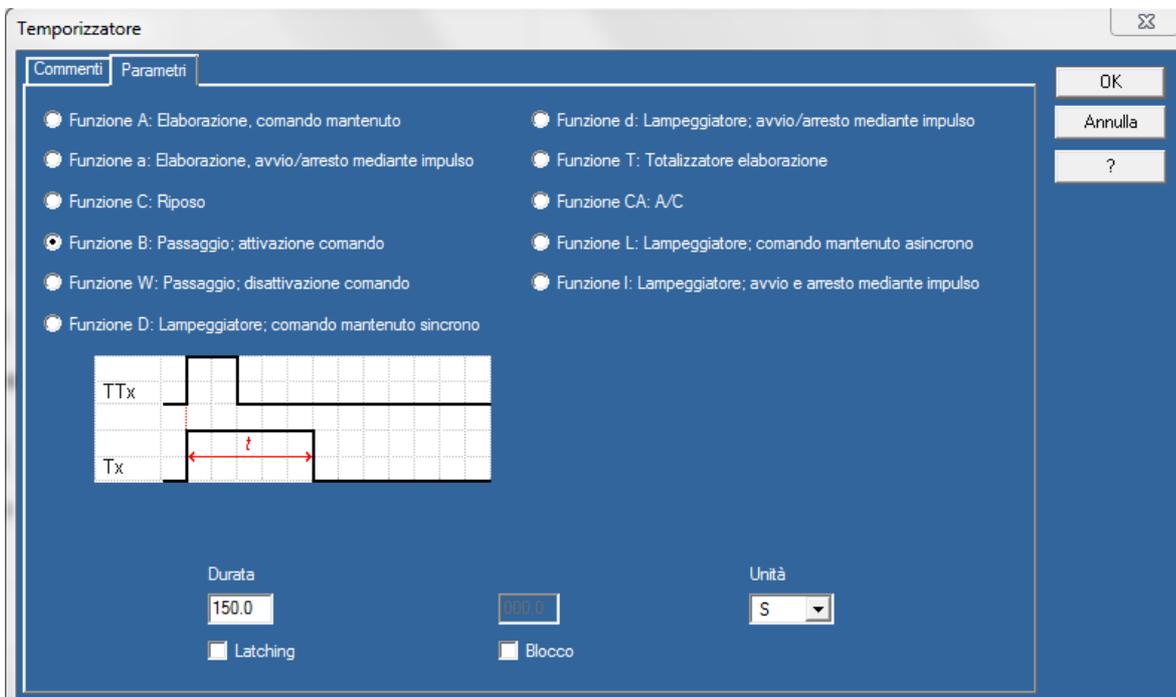


Nel secondo blocco di programma di seguito riportato, a seguito del rilevamento del carico da parte del sensore, ha inizio il conteggio del timer che blocca il motore della linea di arrivo per il tempo prefissato e consente contemporaneamente l'esecuzione delle operazioni di pesatura (da parte della cella di carico) e di indirizzamento dei carichi verso destinazione in relazione al peso.

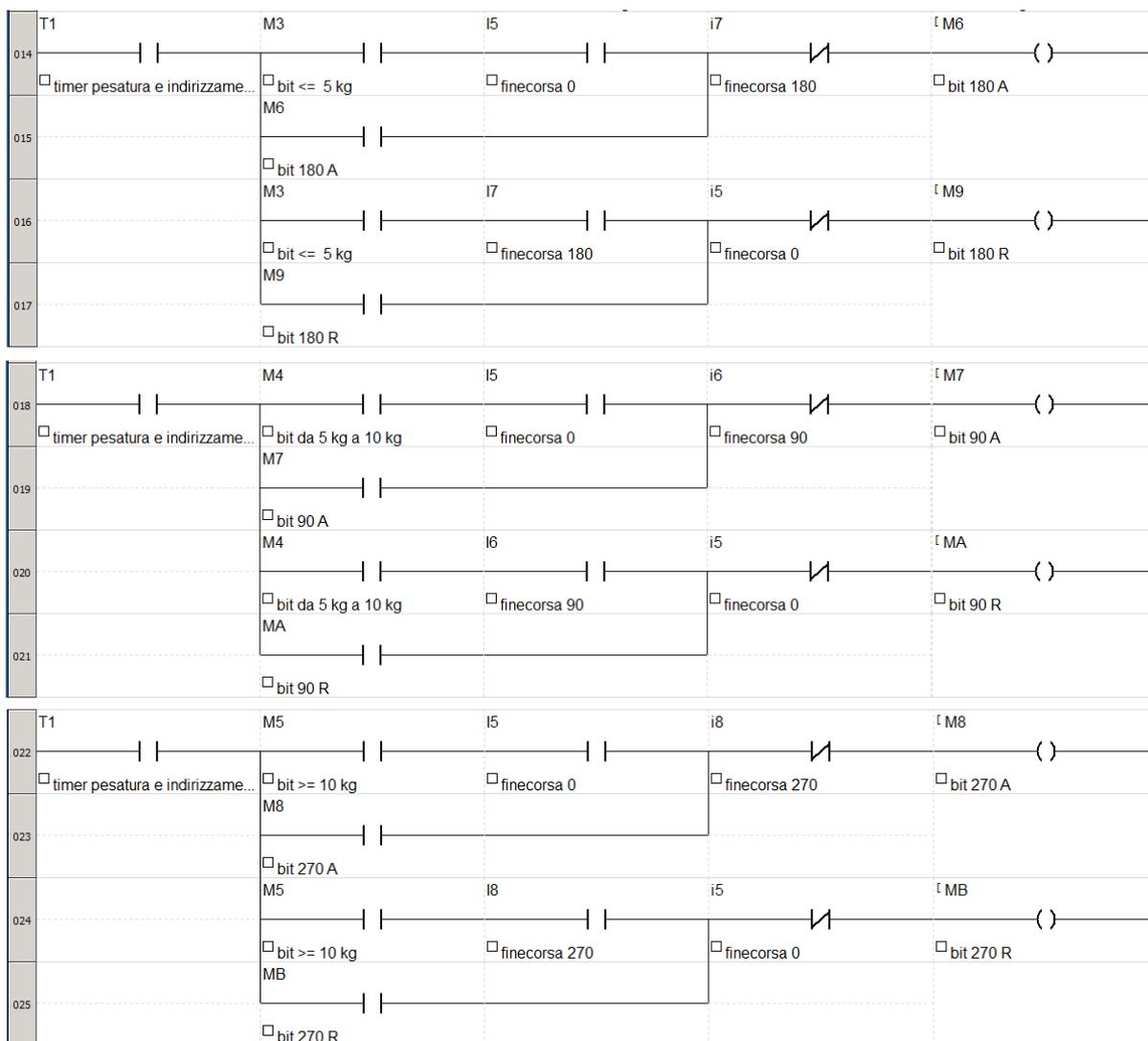
L'operazione di pesatura implica anche il confronto con un peso minimo (necessario per non movimentare la piattaforma quando il carico non è ancora presente).



Le caratteristiche del temporizzatore vengono indicate in figura.

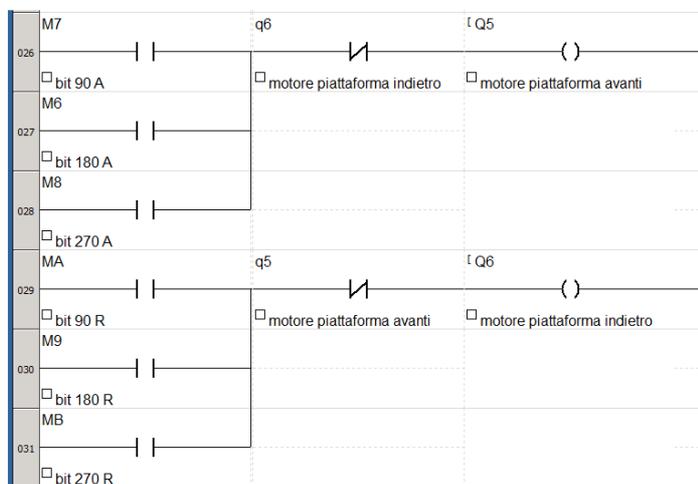


Nel terzo blocco di programma di seguito riportato (suddiviso su tre segmenti in relazione al peso del carico) vengono definite le modalità di rotazione della piattaforma che ruota in senso orario fino al raggiungimento del corrispondente finecorsa (90, 180 o 270) e, di seguito, in senso antiorario fino a ritornare nella posizione iniziale (finecorsa 0).



Nel quarto e ultimo blocco di programma di seguito riportato, con riferimento alle condizioni di funzionamento definite in precedenza, viene azionato il motore della piattaforma.

Con lo scopo di evitare l'attivazione contemporanea delle due uscite sono stati inseriti due contatti di interblocco NC in serie alle due uscite.



Per una corretta simulazione del funzionamento dell'impianto si deve procedere eseguendo nell'ordine le seguenti operazioni:

- click singolo su pulsante di emergenza, pulsante di stop, finecorsa 0 e cella di carico;
- doppio click sul pulsante di avvio;
- doppio click sul sensore di presenza;
- regolazione dell'ingresso analogico su una tensione equivalente al carico ipotizzato;
- click singolo sul finecorsa 0;
- doppio click sul finecorsa terminale;
- regolazione dell'ingresso analogico su una tensione equivalente ad assenza di carico;
- click singolo sul finecorsa 0.

Quando il timer ha terminato il conteggio è possibile la selezione di un nuovo carico partendo dal doppio click sul sensore di presenza.

Un doppio click sul pulsante di stop durante il conteggio non produce alcun effetto.

Un doppio click sul pulsante di stop quando il contatore non è attivato consente lo svuotamento dei contenitori di raccolta e riporta il sistema nelle condizioni iniziali.

Si ricorda che un click singolo è equivalente ad una forzatura a 1 (se si trova a 0) o a 0 (se si trova a 1), un doppio click ad un impulso (e quindi ad un ritorno nella posizione iniziale).

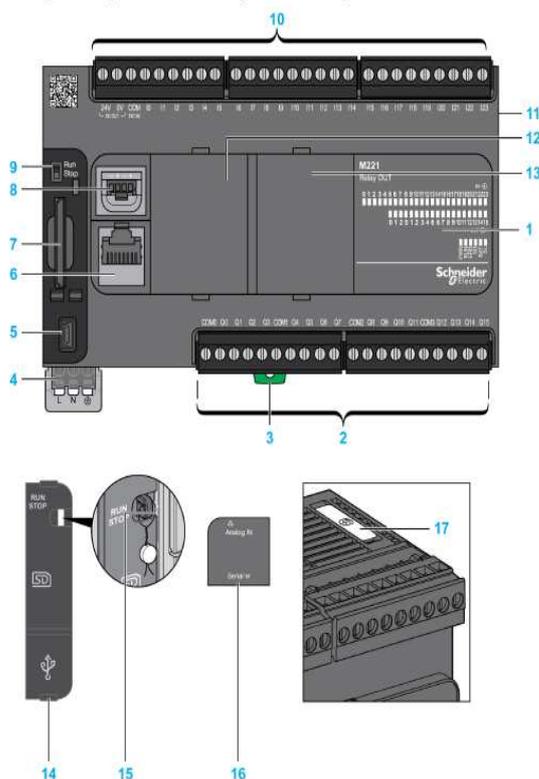
Impiego di un controllore TM221C40R della Schneider Electric (cenni)

Il controllore, in quanto provvisto di ventidue ingressi (due sono analogici) e sedici uscite digitali, è adatto per questo tipo di applicazione (anche in una versione più completa).

Le caratteristiche tecniche salienti vengono di seguito riportate.

Descrizione

La seguente figura mostra i componenti dei logic controller:



Panoramica

I logic controller TM221C40R dispongono delle seguenti funzioni integrate:

- 24 ingressi digitali
 - 4 ingressi veloci (HSC)
 - 20 ingressi standard
- 16 uscite digitali
 - 16 uscite relè
- 2 ingressi analogici
- Porte di comunicazione
 - 1 porta per linea seriale
 - 1 porta di programmazione USB mini-B

N°	Descrizione
1	LED di stato
2	Morsettiera d'uscita rimovibile
3	Graffa di aggancio per guida DIN da 35 mm (1.38 in.) Guida profilata della sezione top hat (guida DIN)
4	Alimentazione 100 - 240 Vac
5	Porta di programmazione USB mini-B per il collegamento dei terminali a un PC di programmazione (SoMachine Basic)
6	Linea seriale porta 1 / connettore RJ45 (RS-232 o RS-485)
7	Slot SD Card
8	2 ingressi analogici
9	Interruttore Run/Stop
10	Morsettiera di ingresso rimovibile e alimentatore integrato utilizzati per collegare i sensori agli ingressi. ⁽¹⁾
11	Connettore di espansione di I/O
12	Slot cartuccia 1
13	Slot cartuccia 2
14	Coperchio di protezione (slot per SD Card, interruttore Run/Stop e porta di programmazione USB mini-B)
15	Gancio di chiusura
16	Coperchio rimovibile degli ingressi analogici
17	Supporto batteria

(1) Caratteristiche alimentatore integrato

- Tensione: 24 V -15%...+10% isolato
- I_{max} : 250 mA
- Nessuna protezione e nessun rilevamento di sovraccarico

1/4_Analisi percentuale

L'analisi percentuale può avvenire tramite apposito software tenendo conto del numero di prosciutti rilevati dai sensori adibiti al conteggio.

Le percentuali si ottengono dividendo il numero dei prosciutti rilevati dai singoli sensori di conteggio per il numero dei prosciutti totali che ne rappresenta la somma.

Un esempio di calcolo realizzato in linguaggio FBD utilizzando i moduli programmabili Zelio della Schneider Electric viene riportato in figura.

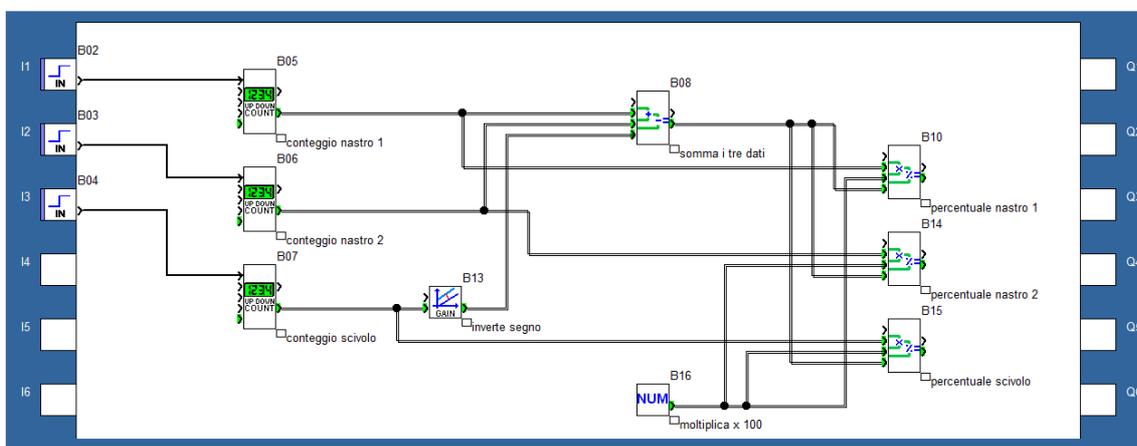
I tre ingressi forniscono gli impulsi che attivano tre contatori abilitati ad incremento.

I tre valori vengono sommati utilizzando un blocco ADD/SUB.

I tre blocchi in uscita del tipo MUL/DIV eseguono il rapporto e lo moltiplicano per 100.

Le tre percentuali sono numeri interi e quindi risultano approssimate.

Il blocco GAIN serve per invertire il segno come richiesto dal collegamento al blocco successivo che, altrimenti, eseguirebbe la sottrazione.



soluzione **SECONDA PARTE**

QUESITO 1

La scelta più idonea dal punto di vista applicativo può ricadere in questo caso su moduli programmabili come ad esempio lo Zelio della Schneider Electric.

Il programma, realizzato ad esempio in linguaggio FBD, deve acquisire un segnale analogico inviato da un sensore di temperatura.

Il valore di temperatura acquisito tramite sensore deve essere confrontato con dei valori limite prefissati (per ipotesi 18 °C e 25 °C).

Si prevede per l'impianto il funzionamento seguente:

- se la temperatura è compresa tra i due valori limite, viene azionato il motore 1 che movimentata un primo ventilatore;
- se supera valore limite superiore viene azionato il motore 2 che movimentata un secondo ventilatore più potente.

L'ingresso analogico fornisce tensioni comprese tra 0 V e 10 V.

Si ipotizza che a tale intervallo di tensioni corrispondano temperature misurate dal sensore comprese tra i valori 0 °C e 31 °C.

La tensione dell'ingresso analogico viene convertita in un valore numerico intero da un convertitore analogico/digitale a 8 bit.

Il valore intero di uscita è quindi compreso tra 0 e 255.

Per leggere la temperatura reale è quindi necessario dividere per 8 il segnale fornito dall'ingresso analogico utilizzando la funzione MUL/DIV.

L'uscita di questo blocco viene confrontata con i valori limite di temperatura forniti attraverso gli ingressi speciali NUM.

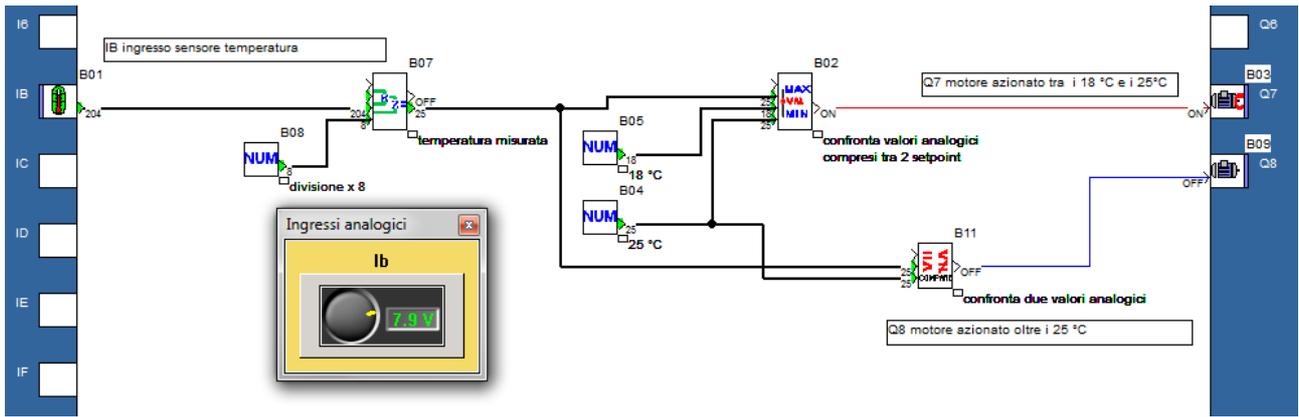
Scegliendo l'opzione *attiva nella zona* si abilita il funzionamento del primo motore all'interno dell'intervallo.

si può scegliere di movimentare il secondo motore in alternativa al primo utilizzando una porta NOT.

Le caratteristiche del modulo utilizzato vengono riportate in figura.

Selezione corrente		Estensioni non contigue	
Riferimento	Base SR2B201JD	1	Non selezionato
Alimentazione	12VDC		
Ingressi	6 DIGITALE + 6 (0-10V)		
Uscite	8 RELÈ		Estensioni
Orologio	Si	1	Non selezionato
Lingua	FBD	2	Non selezionato
Numero totale di ingressi/uscite		12 I / 8 O	

Lo schema corrispondente visualizzato in fase di simulazione a 22 °C viene riportato in figura.



QUESITO 2

parte1_

In molte applicazioni pratiche si evidenzia la necessità di variare la velocità del motore in un ampio campo con un determinato valore di coppia (regolazione a coppia costante) o con una coppia inversamente proporzionale alla velocità (regolazione a potenza costante). Per poter ottenere una variazione di velocità in un motore asincrono trifase si può procedere modificando uno dei seguenti parametri:

- scorrimento;
- numero delle coppie polari;
- frequenza della linea di alimentazione.

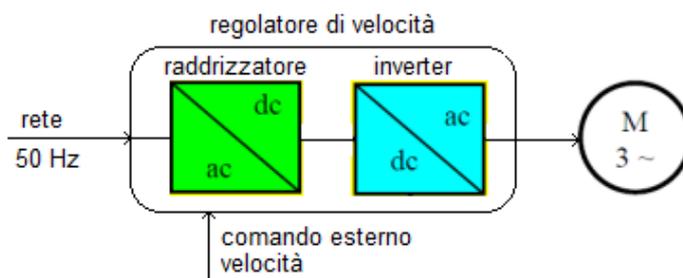
Una variazione dello scorrimento può essere ottenuta aggiungendo dei resistori in serie al rotore nel caso di rotore ad anelli; si ha in questo una diminuzione della velocità del motore.

Una variazione del numero delle coppie di poli può essere realizzata costruendo l'avvolgimento statorico (avvolgimento Dalhander) in modo da poter ottenere un numero di poli differente con il semplice scambio di poche connessioni sulla morsettiera delle bobine di uno stesso avvolgimento; questo metodo consente di ottenere avere soltanto poche velocità.

Una variazione della frequenza si può ottenere utilizzando un convertitore di frequenza ed è questo il metodo attualmente più utilizzato.

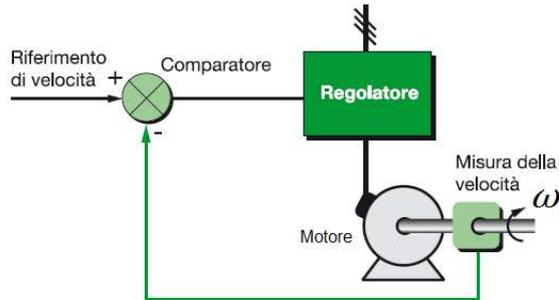
Nel gergo industriale un dispositivo atto alla regolazione della velocità dei motori asincroni trifase viene denominato inverter o convertitore statico di frequenza; in realtà l'inverter è soltanto il dispositivo elettronico atto a trasformare una corrente continua in corrente alternata di forma sinusoidale o pseudo sinusoidale; nel regolatore è anche compreso un blocco raddrizzatore che trasforma l'alternata di rete in una continua a tensione variabile.

In figura viene rappresentato lo schema a blocchi di un regolatore.



Il valore della frequenza in uscita può quindi essere scelto dall'operatore in relazione alla velocità di funzionamento che si vuole far raggiungere al motore.

In un controllo di velocità ad anello chiuso, come mostrato in figura, il valore di frequenza viene scelto automaticamente in relazione alle informazioni fornite da un trasduttore di velocità confrontato con un valore di riferimento (quello che il motore dovrebbe mantenere durante il suo normale funzionamento).



Se si varia la frequenza con cui si alimenta il motore al fine di modificare la velocità si ha come conseguenza un aumento del flusso magnetico (per valori inferiori a 50 Hz) o una diminuzione del flusso magnetico (per valori superiori a 50 Hz).

Per conservare inalterate le caratteristiche meccaniche nominali del motore come la coppia è però necessario garantire un flusso magnetico il più possibile costante e vicino al valore stabilito dal costruttore.

Questa condizione si ottiene mantenendo il più costante possibile il rapporto V/f tra la tensione che alimenta il motore (che influisce sulla coppia) e la frequenza stessa.

Ad esempio per ottenere da un motore standard da 5,5 kW a 2 poli velocità di campo rotante differenti dal valore nominale senza interferire sul comportamento della coppia lo si dovrà alimentare con i valori di frequenza e tensione riportati nella tabella.

Frequenza (Hz)	Tensione (V)	Giri / minuto	Coppia (Nm)
50	400	3000	17
40	320	2400	17
30	240	1800	17
25	200	1500	17
20	160	1200	17
10	80	600	17
5	40	300	17

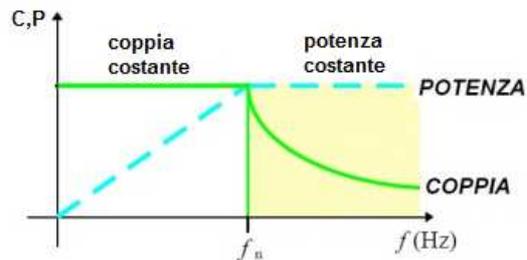
L'inverter regola in modo proporzionale frequenza e tensione sulla base del comando esterno impartito dall'utilizzatore del sistema che in pratica è il comando della velocità richiesta.

In realtà l'inverter non aumenta la tensione sempre in modo proporzionale alla frequenza, ma alle basse frequenze tiene la tensione a valori leggermente superiori per garantire un maggiore flusso magnetico necessario per sopperire alle perdite nel ferro.

Con l'inverter è possibile ottenere velocità maggiori rispetto a quella di targa generando frequenze maggiori di 50 Hz.

Dopo tale punto è ancora possibile aumentare la frequenza per ottenere velocità maggiori ma non è più possibile aumentare la tensione; come conseguenza si ha un progressivo calo della coppia motrice; la zona oltre la frequenza nominale viene denominata zona a potenza costante per distinguerla dalla zona a coppia costante prima della frequenza nominale.

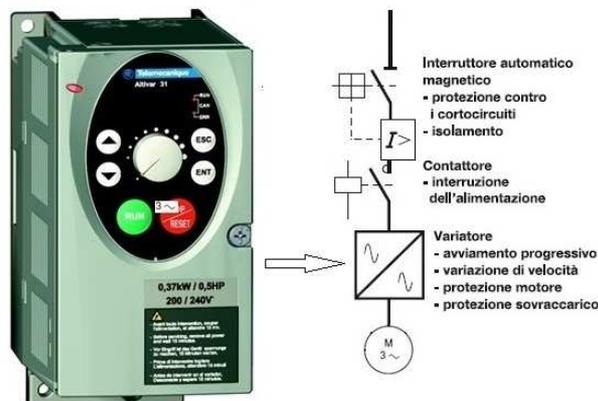
I grafici riportati in figura mostrano l'andamento della coppia e della potenza in funzione della frequenza di alimentazione di un motore asincrono trifase accoppiato con un carico meccanico che, a 50 Hz, assorbe la potenza nominale.



I regolatori di velocità Altivar prodotti da Schneider Electric sono degli esempi di componenti commerciali.

Si citano ad esempio gli Altivar 31 (ATV31), 71 (ATV71) e 312 (ATV312).

I variatori, come evidenzia lo schema riportato in figura, vengono disposti a valle dell'interruttore automatico magnetico e del contattore; la protezione dal sovraccarico viene assolta dal variatore.



parte2_

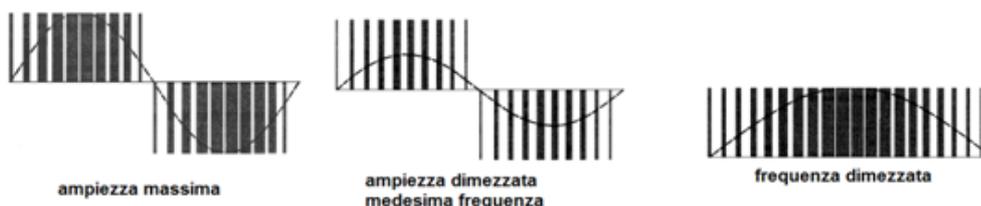
Per ottenere dall'inverter le prestazioni desiderate si può utilizzare il metodo della modulazione della larghezza degli impulsi (PWM).

La tensione continua prodotta dal raddrizzatore, opportunamente filtrata, viene riconvertita in alternata trifase da un inverter, alla cui uscita la tensione può essere di modulo e frequenza variabili grazie all'uso della tecnica PWM.

L'inverter è costituito da interruttori elettronici la cui successione di aperture e chiusure è gestita da un circuito di comando in funzione delle caratteristiche richieste dal controllo per la tensione d'uscita.

Gli impulsi che vengono generati hanno ampiezza costante e larghezza variabile; in base all'ampiezza dell'onda sinusoidale si determina la larghezza dell'impulso.

La figura illustra il principio di variazione dell'ampiezza e della frequenza tipiche della tecnica PWM; la forma d'onda tratteggiata rappresenta la tensione di una fase del sistema trifase che alimenta il motore.



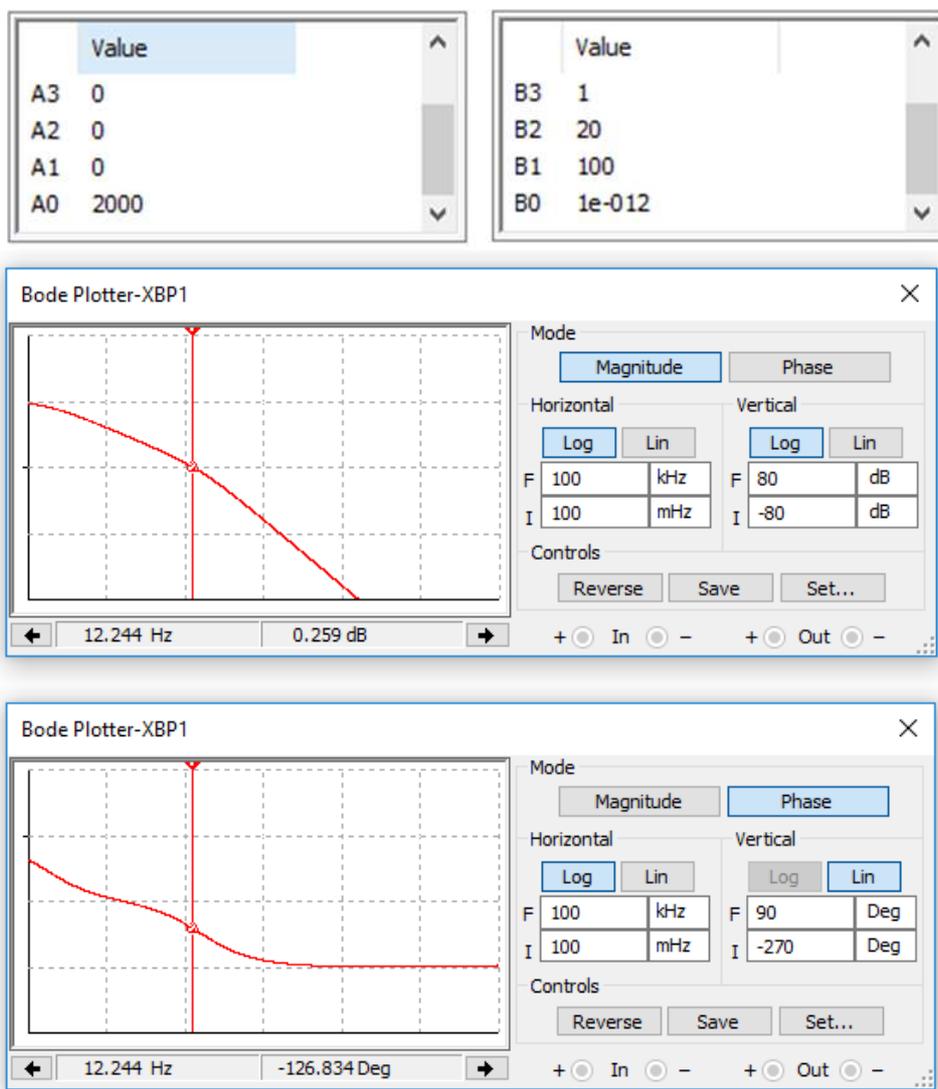
QUESITO 3

parte1_

Con un controllo di tipo proporzionale con costante pari a 1 i diagrammi di Bode del modulo e della fase sono quelli riportati in figura (realizzati utilizzando il programma Multisim).

Per ricavare i coefficienti del polinomio da inserire in Multisim si deve utilizzare la f.d.t. nella forma seguente:

$$P(s) = \frac{2000}{s^3 + 20s^2 + 100s}$$



Il diagramma del modulo evidenzia che il punto di intersezione a 0 dB avviene ad una frequenza di circa 12 Hz; in corrispondenza sul diagramma della fase si ha un valore pari a -127° circa.

Si conclude che il margine di fase vale circa 53° , valore compatibile con la stabilità.

parte2_

La f.d.t. del regolatore PD risulta dalla relazione

$$G(s) = k_p \left(1 + \frac{k_d}{k_p} s \right)$$

in cui k_p è la costante di proporzionalità dovuta al blocco proporzionale e k_d la costante dovuta al blocco derivativo.

Ponendo $k_p = k_d = 1$ risulta per la f.d.t. la relazione seguente:

$$P(s) = \frac{2000 (1 + s)}{s^3 + 20s^2 + 100s} = \frac{2000s + 2000}{s^3 + 20s^2 + 100s}$$

I diagrammi di Bode del modulo e della fase mostrano un margine di fase inalterato e quindi maggiore di 45° come richiesto.

L'effetto positivo prodotto dall'azione derivativa è una riduzione delle oscillazioni che si verificano durante i transitori; l'effetto negativo è quello di mantenere l'errore a regime che si ha con il solo controllo proporzionale.

QUESITO 4

E' evidente come nella società moderna le macchine sostituiscano sempre di più l'uomo nello svolgimento di determinati lavori; nel linguaggio corrente tali macchine si dicono automatiche.

Nell'ambiente che ci circonda le macchine automatiche sono sempre più numerose.

Si citano ad esempio per il settore civile lavatrici, lavastoviglie ed altri elettrodomestici, distributrici automatiche (di biglietti, di generi alimentari, di giornali e riviste, di medicinali).

Fra i numerosissimi esempi che potrebbero essere citati nel settore industriale il più classico è il tornio a controllo numerico impiegato per la lavorazione di pezzi meccanici.

Un sistema si dice automatico se ha la capacità di sostituire l'uomo nell'effettuare un'azione prevista dall'uomo stesso per ottenere un effetto anch'esso previsto.

Automazione è l'insieme delle tecniche necessarie per rendere automatico un sistema.

Le macchine che fanno parte di un sistema automatico eseguono sempre sequenze ben definite di operazioni elementari.

Processo è una sequenza temporale di operazioni coordinate e finalizzate al raggiungimento di un obiettivo.

Il termine processo veniva riferito inizialmente alle sole lavorazioni industriali; ha assunto nel seguito un significato più ampio tanto da riguardare il funzionamento di ogni tipo di sistema.

Sistema di controllo o regolatore è quell'insieme di apparecchiature che agiscono sul sistema controllato in modo tale da far assumere alle variabili d'uscita del sistema (le variabili controllate) dei valori prefissati.

In relazione ai valori che la variabile controllata deve assumere nel corso di una particolare evoluzione di un sistema si possono definire differenti tipologie di regolazione rispettivamente denominate:

- a valore fisso;
- a valore programmato;
- a valore asservito.

Se la grandezza controllata deve essere mantenuta costante nel tempo, come nel caso del controllo di temperatura di un liquido, si utilizza il termine regolazione a valore fisso.

Quando la grandezza controllata deve assumere nel tempo un numero finito di valori si usa il termine regolazione a valore programmato.

Un esempio classico è il sistema di regolazione della temperatura di un ambiente nell'arco della giornata.

Se invece la grandezza controllata deve assumere nel tempo un numero infinito di valori si utilizza il termine regolazione a valore asservito o asservimento.

E' il caso di una grandezza controllata che deve seguire, secondo un andamento ben definito, le variazioni di un'altra grandezza che la pilota; tipico esempio è il servosterzo da cui il termine servomeccanismi attribuito a questi dispositivi.

In relazione al modo di operare che viene richiesto al sistema di controllo si possono avere le seguenti tipologie di controllo rispettivamente definite:

- struttura ad anello aperto;
- struttura ad anello chiuso.
- regolazione on/off.

Struttura ad anello aperto

Il sistema di controllo (regolatore) e il sistema controllato sono collegati in serie.

Si osservi in proposito l'esempio riportato in figura (schema a blocchi per il controllo della velocità di un motore alimentato in continua) in cui il sistema controllato è il motore; la velocità dell'albero motore ω si modifica agendo sulla tensione applicata ai morsetti del motore (tensione di armatura V_a).



La tensione d'ingresso al regolatore V_r rappresenta il segnale di riferimento; a ciascun valore di tensione di riferimento corrisponde una ben determinata velocità del motore.

I disturbi d vengono considerati variabili dannose per il sistema stesso poiché agiscono in modo non prevedibile e sulle quali non si può influire; il sistema di controllo deve agire in modo tale da compensare gli effetti prodotti dai disturbi.

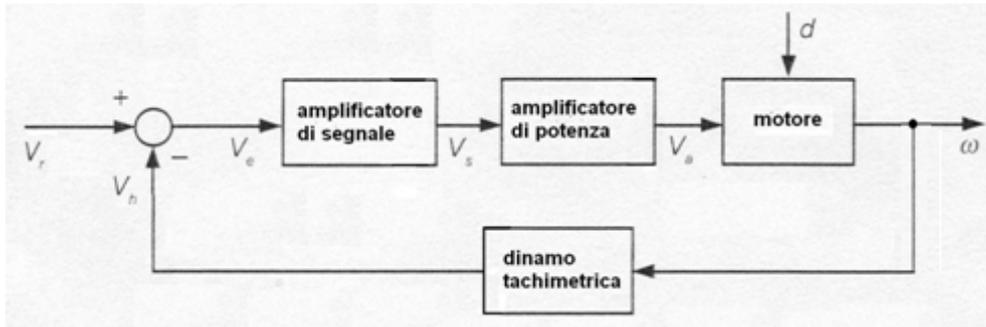
Un sistema che ha queste caratteristiche non è in grado di verificare in alcun modo il valore assunto dalla variabile controllata in quanto il suo valore viene impostato a priori attraverso la variabile di riferimento; è proprio questa sua incapacità che rende questi insensibili sia alle variazioni dei parametri rispetto al valore considerato in fase di progetto sia ai disturbi.

In un sistema di controllo ad anello aperto è possibile compensare l'effetto prodotto dai disturbi soltanto se questi sono prevedibili e misurabili.

Struttura ad anello chiuso

La sua struttura è quella tipica di un collegamento di blocchi in retroazione in cui il segnale di uscita viene prelevato e riportato in ingresso.

Si osservi in proposito l'esempio riportato in figura (schema a blocchi per il controllo della velocità di un motore alimentato in continua).



Il regolatore è costituito da un amplificatore di segnale e da un comparatore (nodo di confronto) che confronta il segnale di riferimento V_r con il segnale di retroazione V_h proveniente dal ramo di retroazione e genera il segnale errore V_e .

Il segnale di retroazione (generato dalla dinamo tachimetrica attraverso un condizionatore di segnale non rappresentato in figura) viene confrontato continuamente con il segnale di riferimento; dallo scarto tra queste due grandezze (quantificato attraverso il segnale errore) deriva un'azione che tende ad annullare tale differenza con lo scopo di regolare il valore assunto dalla variabile controllata (la velocità del motore ω) attraverso il segnale V_s (generato come conseguenza dall'amplificatore di segnale) che agisce sul sistema controllato soggetto ai disturbi d .

Il segnale V_s contiene informazioni ma non potenza; per questo motivo viene collegato in serie un amplificatore di potenza che fornisce al motore la tensione adatta V_a .

Il regolatore ed il sistema controllato (motore con amplificatore di potenza), disposti in serie, rappresentano il blocco di andata.

La velocità del motore ω viene trasformata dalla dinamo tachimetrica (trasduttore) in una tensione V_h ad essa proporzionale.

Nel blocco di retroazione avviene di solito una modifica della natura della grandezza controllata che deve essere resa compatibile con il segnale di riferimento (una tensione o una corrente); il trasduttore è il dispositivo capace di operare questa trasformazione.

La presenza di un percorso chiuso del segnale rende un sistema che adotta questa struttura meno sensibile a disturbi e variazioni di parametri rispetto alla struttura ad anello aperto.

E' evidente come nelle strutture ad anello chiuso si interviene sullo sviluppo del processo quando esiste uno scostamento tra il valore desiderato (impostato attraverso il segnale di riferimento) ed il valore rilevato (misurato attraverso il blocco di retroazione).

Il fatto che al segnale di retroazione sia stato attribuito il segno $-$ non è casuale in quanto la scelta del segno $+$ non ha, almeno per i sistemi di controllo, un significato pratico.

Regolazione on/off

Il regolatore ha l'uscita di tipo discreto a due livelli rispettivamente denominati:

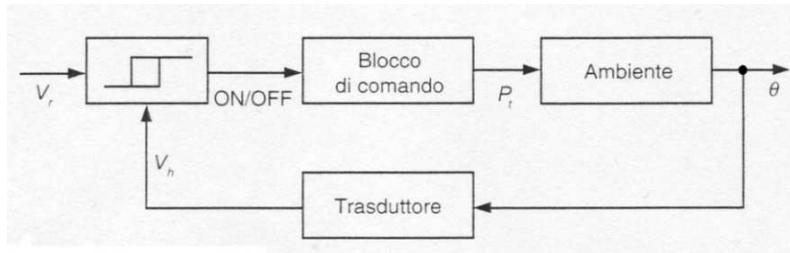
- livello di consenso (on);
- livello di blocco (off).

Dopo aver confrontato la grandezza di riferimento con il segnale proveniente dal ramo di retroazione, il regolatore fornisce il consenso o lo nega.

Conseguenze dirette delle azioni di consenso e di blocco possono ad esempio essere l'apertura o la chiusura dei contatti di un relè.

La precisione della grandezza controllata non è molto elevata e pertanto l'impiego di sistemi è limitato a casi abbastanza particolari.

Si consideri in proposito l'esempio riportato in figura, un sistema di controllo della temperatura di un ambiente θ che deve essere compresa tra una soglia inferiore θ_1 ed una soglia superiore θ_2 .



Il regolatore è costituito dal nodo di confronto (ad esempio un comparatore con isteresi) e dal blocco di comando (che può essere costituito da un amplificatore, da un attuatore a relè (ad esempio un relè e da un elemento riscaldatore che fornisce all'ambiente la potenza riscaldante P_θ).

I grafici riportati in figura mostrano l'andamento nel tempo della temperatura e l'andamento della potenza riscaldante ad essa corrispondente.

Quando la temperatura supera la soglia superiore l'elemento riscaldatore viene disattivato, quando scende sotto alla soglia inferiore viene attivato.

