



# Azionamenti con PLC

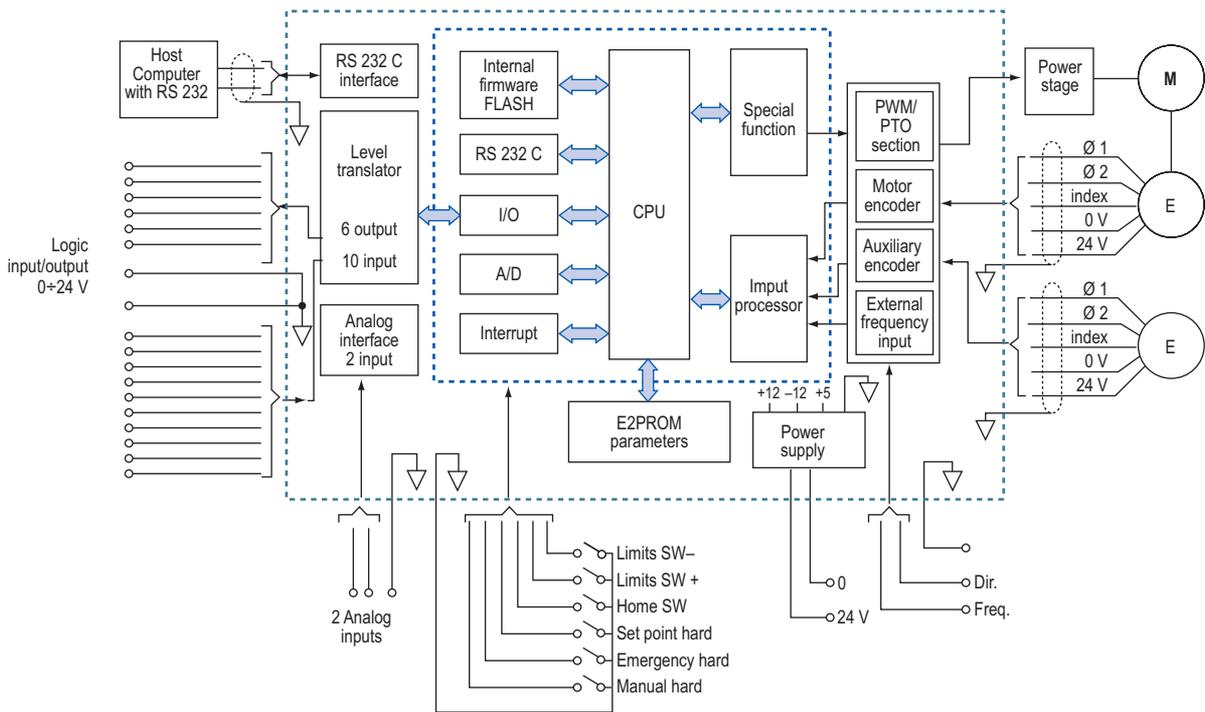


Fig. 1. Struttura di PLC con funzioni avanzate.

Il PLC dispone di prestazioni standard sufficienti a realizzare direttamente il controllo di azionamenti elettrici in applicazioni semplici (fig. 1); per applicazioni più impegnative, si correda il PLC di moduli aggiuntivi specifici per motion control.

## Ingressi di conteggio veloce

Per ottenere conteggi a frequenza alta, bisogna superare il problema del ritardo introdotto dal filtro di ingresso presente negli ingressi standard, utilizzando i cosiddetti ingressi “veloci” (tab. 1), con lo svantaggio di una maggiore sensibilità ai disturbi, e quindi da usarsi con maggiore cautela.

Tab. 1 – Ingressi veloci per PLC Siemens	
CPU	f <sub>max</sub> [kHz]
224XP	200
1211÷1224	100 (a 1 fase)
	80 (in quadratura)

L'applicazione tipica è il conteggio di encoder incrementali applicati su macchine rotanti molto veloci (laminatoi, industrie della plastica), con la possibilità

di quadruplicare la risoluzione degli encoder bica-nale utilizzando la modalità 4x in quadratura e di chiamata in interrupt una volta raggiunto un valore di confronto preimpostato.

## Ingressi di interrupt

L'interrupt è una modalità operativa a disposizione dei dispositivi esterni per interrompere momentaneamente l'esecuzione del programma principale ed eseguire uno specifico sottoprogramma di servizio della chiamata stessa. Una volta terminata tale routine, il sistema riprende l'esecuzione del programma dal punto esatto in cui si trovava al momento dell'interruzione.

A differenza di un ingresso normale, che viene avvertito con ritardo sull'ingresso e con un'incertezza pari al tempo di scansione del programma, un ingresso di interrupt non ha ritardi sull'ingresso e agisce immediatamente, garantendo al sistema di non perdere le informazioni anche di breve durata e di essere cioè un sistema **in tempo reale**.

Gli utilizzi tipici riguardano gli ingressi da fotocellule e fincorsa di sicurezza.

**ESEMPIO 1**

I finecorsa di sicurezza posti alle estremità di un controllo asse lineare (fig. 2) servono a prevenire danni meccanici conseguenti a un eventuale funzionamento in extracorsa.

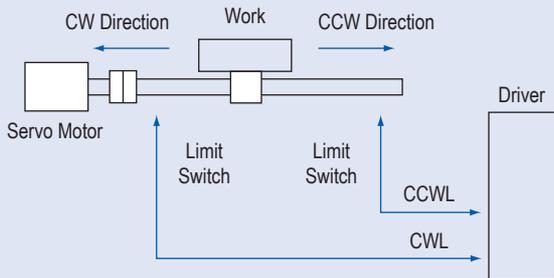


Fig. 2. Finecorsa di sicurezza.

Nella CPU 1200, gli ingressi possono essere abilitati alla funzione di interrupt su fronte di salita e/o di discesa durante la fase di configurazione dei parametri del modulo; a ciascun ingresso risulta associato uno specifico blocco di programma OB.

**Uscite impulsi**

Le uscite tradizionali a transistor hanno ritardi dell'ordine delle decine di microsecondi.

Per azionare servo motori in continua mediante segnale PWM, oppure azionamenti passo-passo mediante impulsi in frequenza (PTO) servono invece frequenze alte, perciò sono disponibili uscite apposite con ritardi ridotti sulle quali è possibile applicare funzioni di emissione impulsi fino a 100 kHz, che sgravano il lavoro della CPU.

La funzione PWM fornisce un'uscita con tempo di ciclo fisso e duty cycle variabile, entrambi con valore a 16 bit e con risoluzione in microsecondi o in millisecondi.

Con la funzione PTO è possibile delegare l'emissione sincrona di un intero profilo di posizionamento per azionamenti passo-passo, composto da più segmenti, con eventuale richiesta di interrupt al termine.



**ESEMPIO 2**

Determinare la massima velocità di avanzamento di una vite a ricircolazione di sfere con passo 5 mm, governata con risoluzione 0,01 mm mediante servo motore in accoppiamento diretto, azionato passo-passo da un PLC con funzione PTO a 20 kHz massimi.

**SOLUZIONE**

Per garantire la risoluzione di avanzamento richiesta, gli impulsi che il PLC deve emettere per ottenere 1 giro del motore sono:

$$\frac{5 \text{ mm}}{0,01 \text{ mm}} = 500 \frac{\text{imp}}{\text{giro}}$$

Se il limite di frequenza del PTO è di 20 kHz, il motore può fare al massimo:

$$\frac{20.000 \text{ imp/s}}{500 \text{ imp/giro}} = 40 \frac{\text{giri}}{\text{s}}$$

cui corrisponde una velocità di avanzamento della vite pari a:

$$40 \frac{\text{giri}}{\text{s}} \cdot 5 \frac{\text{mm}}{\text{giro}} = 20 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

**Camma elettronica**

La funzione camma per controllo digitale assi è un controllo di posizione relativa si/no per un certo numero di traguardi (fig. 3), in sostituzione di camme meccaniche o di finecorsa.

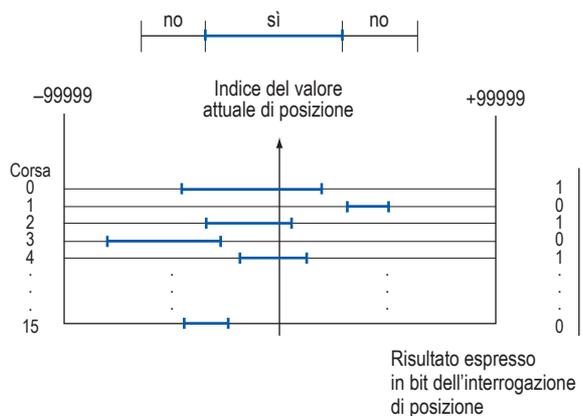


Fig. 3. Camme di controllo digitale assi a 16 traguardi.

La funzione confronta costantemente la posizione attuale dell'asse, calcolata tramite i segnali ricevuti dal trasduttore esterno, con i campi dei valori di consegna ricevuti in fase di inizializzazione, e setta o resetta un bit di riconoscimento per ciascuna delle tracce. Tali bit possono essere testati in qualunque momento dall'unità centrale del PLC.

La precisione è legata sia al tempo di aggiornamento dell'unità sia alla velocità stessa dello spostamento.

**ESEMPIO 3**

Determinare la precisione di aggiornamento dei traguardi relativi a un asse che lavora a 6 m/min, sapendo che il PLC li aggiorna con frequenza 1 kHz.

**SOLUZIONE**

Con frequenza 1 kHz, l'aggiornamento dei traguardi avviene ogni 1 ms, perciò la precisione vale:

$$\frac{6 \text{ m}}{1 \text{ min}} \cdot 1 \text{ ms} = \frac{6000 \text{ mm}}{60 \text{ s}} \cdot 1 \text{ ms} = \pm 0,1 \text{ mm}$$

**Unità comando valvole**

L'unità di comando valvole è utilizzabile per il comando diretto di servovalvole o di valvole proporzionali, senza la necessità di ulteriore elettronica d'amplificazione. I valori di consegna (11 bit + segno) sono convertiti in una corrente di bobina impressa. L'elettronica interna è abbastanza complessa e comprende un generatore di rampa, un generatore di vibrazioni, per superare l'attrito meccanico del pistone, la preeccitazione per le valvole proporzionali e la regolazione integrata della posizione del pistone di valvola. Queste unità sono impiegate nell'industria automobilistica, nelle macchine utensili e nei robot, per compiti di posizionamento di ogni genere a elevata precisione.

**Unità di posizionamento**

Una unità di posizionamento è un sistema aggiuntivo indipendente che realizza l'anello di posizione (fig. 4).

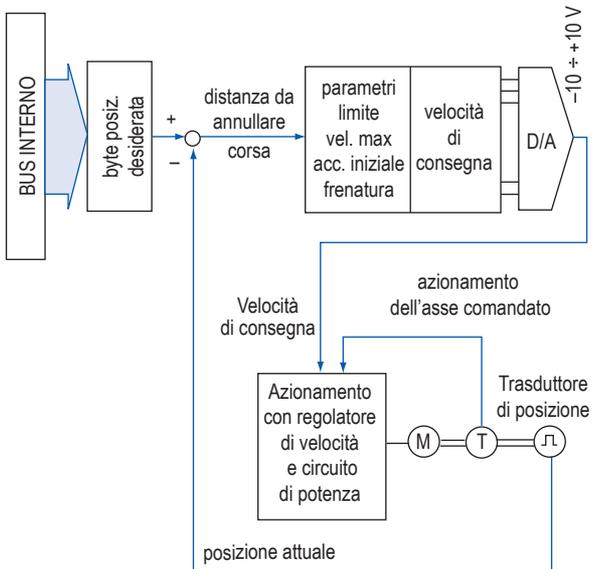


Fig. 4. Schema funzionale di una unità di posizionamento.

Da una parte riceve dal bus del PLC (o dalla connessione Ethernet) le coordinate della posizione obiettivo da raggiungere e, dall'altra, l'informazione relativa alla posizione attualmente occupata mediante il trasduttore di posizione. Elaborate queste informazioni, fornisce alla scheda azionamento asse una *velocità di consegna* sotto forma di tensione -10 V, +10 V, di valore decrescente all'avvicinarsi della posizione obiettivo.

L'azionamento esterno contiene tutta l'elettronica di potenza per il controllo del motore e la circuiteria necessaria per chiudere l'anello di velocità con la dinamo calettata sull'albero del motore.

La precisione fornita è dell'ordine di un centesimo di millimetro su uno spostamento di un metro, ovvero una parte su 100.000 (10 ppM).

**Librerie motion control**

Le librerie motion control comprendono blocchi funzione specifici per il posizionamento assoluto e relativo, di comando velocità e di gestione asse, configurati secondo le specifiche standard PLC-Open (IEC 61131-3).

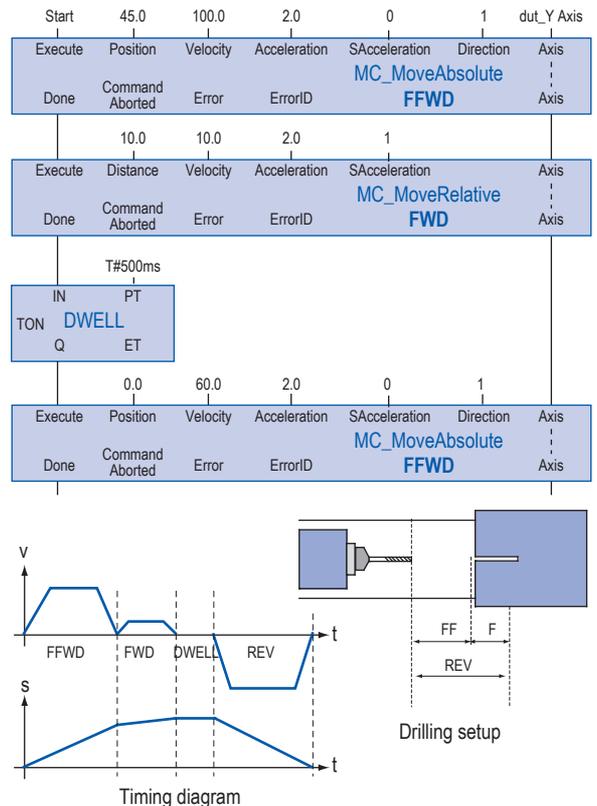


Fig. 5. Esempio di programma di foratura (Panasonic).

Le funzioni, opportunamente parametrizzate e richiamate nel programma utente del PLC, costituiscono l'interfaccia dei job motion control con gli oggetti

in campo, quali assi, camme, encoder, azionamenti. Alcuni job di movimentazione di base per asse singolo sono per esempio: MC\_MoveAbsolute, MC\_MoveRelative, MC\_MoveVelocity, MC\_Home, MC\_PositionProfile, MC\_VelocityProfile, ecc.

I blocchi funzione multiasse riguardano, invece, la

gestione delle camme e dei sincronismi master slave. Ciascun job viene attivato da un cambio di segnale (fronte positivo) nel parametro di abilitazione, e fornisce in uscita informazioni sul completamento o l'interruzione del job, comprese eventuali segnalazioni di errore (fig. 5).

## Azionamenti con PLC

## Test

Tra le seguenti affermazioni, individua quelle corrette (V) e quelle errate (F).

### 1 In merito agli ingressi dei PLC con funzioni di azionamento è corretto dire che:

1. i circuiti degli ingressi standard prevedono un filtro antidisturbo  V  F
2. il filtro antirimbando ritarda di alcuni millisecondi l'acquisizione dell'ingresso  V  F
3. gli ingressi veloci sono più sensibili ai disturbi  V  F
4. gli ingressi veloci sono ottenuti aumentando il filtro  V  F

### 2 Per quanto riguarda le funzioni e le unità aggiuntive del PLC:

1. la funzione PTO genera impulsi a frequenza variabile destinati ad azionamenti passo-passo  V  F
2. la funzione camma può essere impiegata dove sono necessarie operazioni di finecorsa tra due posizioni  V  F
3. l'unità di comando valvole è utilizzabile per il comando diretto di valvole on/off  V  F
4. l'unità di posizionamento fornisce alla scheda azionamento asse una velocità di consegna  V  F

### 3 Parlando degli ingressi di interrupt di un PLC è corretto dire che:

1. un ingresso di interrupt permette a un dispositivo esterno di interrompere momentaneamente l'esecuzione del programma principale  V  F
2. un ingresso di interrupt non ha ritardi sull'ingresso  V  F
3. la chiamata di interrupt innesca l'esecuzione di uno specifico sottoprogramma di servizio  V  F
4. l'interrupt viene avvertito con una incertezza pari al tempo di scansione del programma  V  F

### 4 In merito alle uscite impulsi di un PLC, è corretto affermare che:

1. la funzione PWM emette impulsi di frequenza fissa e duty cycle variabili  V  F
2. un'uscita PWM è indicata per governare un azionamento passo-passo  V  F
3. la funzione PTO può gestire l'emissione di un intero profilo di posizionamento  V  F
4. la funzione PTO può emettere impulsi a frequenza variabile  V  F



**ESERCIZIO A**

Il sistema di trasporto dei materiali in una fabbrica è realizzato su rotaie in acciaio mediante carrelli con ruote in acciaio, movimentati avanti-indietro da due motori lineari. Il carrello, di massa 200 kg, caricato con 800 kg di materiale, viene portato in posizione con velocità massima  $v_M = 16,2$  km/h, secondo il diagramma di **fig. 6**, scaricato in 10 s, e riportato vuoto alla posizione iniziale, dove viene caricato in 10 s. Sapendo che il coefficiente di attrito volvente vale  $\eta = 0,005$ , e che durante le pause il carrello viene bloccato con fermo meccanico e i motori sono scarichi, individuare il motore lineare adeguato scegliendo tra le disponibilità di **tab. 1**, compatibili con la velocità richiesta.

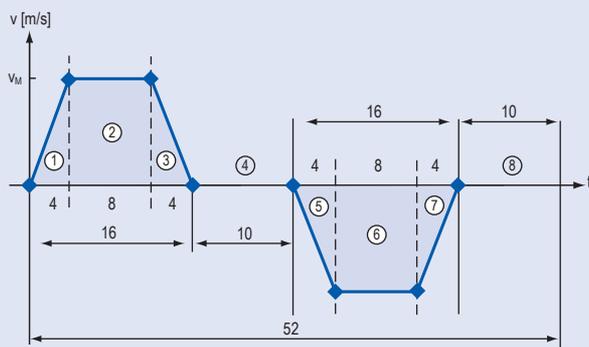


Fig. 6. Diagramma della velocità.

Tab. 1 – Motori lineari disponibili.

Modelli $V_{DC} = 560$ V	$F_{peak}$ [N]	$F_n$ [N]	$I_{max}$ [A]	$I_n$ [N]
A	1.000	450	8	3,1
B	2.000	800	16	6,2
C	3.000	1.300	24	9,3
D	4.000	1.800	32	12,4
E	5.000	2.300	40	15,5

**SOLUZIONE**

$$v_M = 16,2 \text{ km/h} = 4,5 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{v_M - 0}{4 \text{ s}} = \frac{4,5 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = 1,125 \text{ m/s}^2$$

Lunghezza del binario

$$L = \frac{1}{2} \cdot 1,125 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (4 \text{ s})^2 + 4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 8 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 1,125 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (4 \text{ s})^2 = 54 \text{ m}$$

Forza peso del carrello vuoto ( $F_c$ ) e del carrello pieno ( $F_g$ )

$$F_p = 200 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 1962 \text{ N}$$

$$F_g = 1000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9810 \text{ N}$$

Forze di attrito rispettive

$$F_{p\mu} = F_p \cdot \mu = 1962 \cdot 0,005 = 9,8 \text{ N}$$

$$F_{g\mu} = F_g \cdot \mu = 9810 \cdot 0,005 = 49 \text{ N}$$

Forza di accelerazione e decelerazione in andata

$$F_a = 1000 \text{ kg} \cdot 4,5 \text{ m/s}^2 = 4500 \text{ N}$$

Forza di accelerazione e decelerazione durante il rientro

$$F_r = 200 \text{ kg} \cdot 4,5 \text{ m/s}^2 = 900 \text{ N}$$

fase	azione	componenti	F tot. [N]	durata [s]
1	Spinge in avanti	$F_a + F_{g\mu}$	4.549	4
2		$F_{g\mu}$	49	8
3	Frena in avanti	$-F_a + F_{g\mu}$	-4.451	4
4	Fermo a riposo		0	10
5	Spinge indietro	$F_r + F_{p\mu}$	909,8	4
6		$F_{p\mu}$	9,8	8
7	Frena indietro	$-F_r + F_{p\mu}$	-890,2	4
8	Fermo a riposo		0	10

La forza di picco vale  $F_{pk} = 4.549$  N, mentre la forza efficace vale per definizione la radice quadrata della media dei quadrati

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + \dots + F_7^2 \cdot t_7 + F_8^2 \cdot t_8}{T}}$$

$$= \sqrt{\frac{4549^2 \cdot 4 + \dots + 890,2^2 \cdot 4 + 0}{52}} = 1800 \text{ N}$$

La forza di picco risulta più che doppia rispetto alla forza efficace, perciò è lei a determinare la scelta. Il motore lineare da utilizzare è quindi il modello E, con  $F_{peak} = 5.000$  N.

**ESERCIZIO 1**

Una tavola azionata in modo diretto mediante vite con passo 2 mm deve essere posizionata con velocità massima 200 mm/s e con risoluzione 10  $\mu\text{m}$ . Determinare la risoluzione dell'encoder bicanale da porre in retroazione e le prestazioni in frequenza dell'ingresso veloce del PLC. Ripetere i calcoli nel caso di ingresso encoder con modalità 4x.

[Ris.: 200 passi/giro, 20 kHz; 50 passi/giro, 5 kHz]

**ESERCIZIO B**

Una coppia di rulli di diametro 3 cm trascina un nastro plastico alla velocità massima  $v_{\text{max}} = 5 \text{ m/s}$ ; un encoder bicanale con risoluzione 100 passi/giro è calettato sull'asse di uno dei rulli.

Determinare la frequenza (f) di ingresso del modulo contatore veloce da utilizzare e le dimensioni della variabile (N) di conteggio degli impulsi se questi sono acquisiti in modalità 4x in quadratura, ogni 0,5 s. Determinare l'equazione per il calcolo della velocità (v) del nastro [m/s] una volta noto N.

**SOLUZIONE**

La circonferenza del rullo vale:

$$c = 2\pi \cdot \frac{d}{2} = 2\pi \cdot \frac{3 \text{ cm}}{2} = 9,425 \text{ cm}$$

perciò alla velocità massima i rulli girano con velocità:

$$n = \frac{v_{\text{max}}}{c} = \frac{5 \text{ m/s}}{0,09425 \text{ m}} = 53,05 \frac{\text{giri}}{\text{s}}$$

e la frequenza di ingresso del canale contatore veloce dovrà essere superiore alla frequenza degli impulsi:

$$f = n \cdot 200 = 53,05 \frac{\text{giri}}{\text{s}} \cdot 100 \frac{\text{imp}}{\text{giro}} = 5305 \frac{\text{imp}}{\text{s}}$$

Utilizzando l'encoder bicanale in modalità 4x in quadratura, il numero degli impulsi generati alla velocità massima in 0,5 s sono:

$$N = 5305 \frac{\text{imp}}{\text{s}} \cdot 0,5 \text{ s} \cdot 4 = 10.610$$

Quindi, è necessario che la variabile N sia almeno a 14 bit.

Una volta noto il numero (N) degli impulsi rilevati ogni 0,5 s, la velocità del nastro espressa in m/s vale:

$$v = \frac{N \cdot 9,425 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{4 \cdot 100 \cdot 0,5 \text{ s}} = N \cdot 4,7125 \cdot 10^{-4}$$

**ESERCIZIO 2**

Una coppia di rulli di diametro 4 cm trascina un nastro plastico alla velocità massima  $v_{\text{max}} = 4 \text{ m/s}$ ; un encoder bicanale con risoluzione 50 passi/giro è calettato sull'asse di uno dei rulli.

Determinare la frequenza (f) di ingresso del modulo contatore veloce da utilizzare e le dimensioni della variabile (N) di conteggio degli impulsi se questi sono acquisiti in modalità 4x in quadratura, ogni 0,4 s. Determinare l'equazione per il calcolo della velocità (v) del nastro [m/s] una volta noto N.

[Ris.:  $f_{\text{ing}} \geq 1.592 \text{ Hz}$ ;  $N \geq 12 \text{ bit}$ ;  
 $v = N \cdot 0,157 \cdot 10^{-2}$ ]

**ESERCIZIO C**

Su un nastro trasportatore, che scorre alla velocità costante di 1 m/s, passano in continuazione pacchi dei quali si vuole misurare la lunghezza con precisione  $\pm 0,5 \text{ cm}$  mediante misura di tempo dopo l'interruzione della fotocellula. Determinare le risorse da mettere in campo.

**SOLUZIONE**

Le risorse da mettere in campo sono appunto un ingresso di interrupt per la fotocellula, attivo su entrambi i fronti del segnale di buio, e un contatore azionato da un timer con cadenza:

$$\Delta t = \frac{0,5 \text{ cm}}{1 \text{ m/s}} = 5 \text{ ms}$$

Il contatore è azzerato durante la routine di interrupt relativa al fronte iniziale della fotocellula e va letto nella routine relativa al fronte di fine-pacco. La misura di lunghezza varrà:

$$L = N \cdot 0,5 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}$$

**ESERCIZIO 3**

Su un nastro trasportatore, che scorre alla velocità costante di 0,5 m/s, passano in continuazione pacchi dei quali si vuole misurare la lunghezza (L) con precisione  $\pm 1 \text{ cm}$ . Determinare le risorse da mettere in campo.

[Ris.: fotocellula in int. su entrambi i fronti di buio; conta timer  $\Delta t = 20 \text{ ms}$ , azzerato su fronte di inizio e letto su fronte di fine-pacco;  
 $L = N \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}$ ]



### ESERCIZIO D

Determinare la massima velocità di avanzamento di una vite a ricircolazione di sfere con passo 10 mm, governata con risoluzione 0,005 mm mediante servo motore in accoppiamento diretto, azionato passo-passo da un PLC con funzione PTO a 100 kHz massimi.

#### SOLUZIONE

Per garantire la risoluzione di avanzamento richiesta, gli impulsi che il PLC deve emettere per ottenere 1 giro del motore sono:

$$\frac{10 \text{ mm}}{0,005 \text{ mm}} = 2000 \frac{\text{imp}}{\text{giro}}$$

Se il limite di frequenza del PTO è di 100 kHz, il motore può fare al massimo:

$$\frac{100.000 \text{ imp/s}}{2000 \text{ imp/giro}} = 50 \frac{\text{giri}}{\text{s}}$$

cui corrisponde una velocità di avanzamento della vite pari a:

$$50 \frac{\text{giri}}{\text{s}} \cdot 10 \frac{\text{mm}}{\text{giro}} = 50 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

### ESERCIZIO 4

Mediante la funzione PTO associata ad una delle uscite veloci della CPU 224 XP si vuole governare un profilo a quattro segmenti da 6000 impulsi complessivi, scomposto in 400 passi di accelerazione, con frequenza iniziale 200 Hz e finale 1 kHz, 4600 impulsi di avanzamento a 1 kHz, 800 impulsi di decelerazione da 1 kHz a 200 Hz e un accostamento di 200 impulsi sempre a 200 Hz. Preparare la tabella da allocare in memoria.

[Ris.: tab. 2]

Tab. 2 – Profilo a 4 segmenti per PTO		
VB 500	4	N. dei segmenti componenti il profilo
VW 501	5000	Periodo iniziale (μs) del primo segmento
VW 503	-10	Decremento del periodo ad ogni impulso
VD 505	400	N. totale impulsi del primo segmento
VW 509	1000	Periodo iniziale (μs) del secondo segmento
VW 511	0	Decremento del periodo ad ogni impulso
VD 513	4600	N. totale impulsi del secondo segmento
VW 517	1000	Periodo iniziale (μs) del terzo segmento
VW 519	5	Incremento del periodo ad ogni impulso
VD 521	800	N. totale impulsi del terzo segmento
VW 525	5000	Periodo iniziale (μs) del quarto segmento
VW 527	0	Incremento del periodo ad ogni impulso
VD 529	200	N. totale impulsi del quarto segmento

### ESERCIZIO 5

Determinare la massima velocità di avanzamento di una vite a ricircolazione di sfere con passo 20 mm, governata con risoluzione 0,005 mm mediante servo motore in accoppiamento diretto, azionato passo-passo da un PLC con funzione PTO a 80 kHz massimi.

[Ris.: 40 cm/s]



### ESERCIZIO E

Mediante la CPU 224 XP si vuole governare un profilo a tre segmenti da 4000 impulsi complessivi, scomposto in 200 passi di accelerazione, con frequenza iniziale a 2 kHz e frequenza finale a 10 kHz, con 3400 impulsi di avanzamento a 10 kHz e 400 impulsi di decelerazione da 10 a 2 kHz. Proporre una soluzione.

#### SOLUZIONE

Si prepara in memoria la **tab. 3**, da richiamare mediante la funzione PTO associata ad una delle uscite veloci.

Tab. 3 – Profilo a tre segmenti da associare alla funzione PTO per CPU 224 XP

Indirizzo della variabile	Valore	Commento
VB 500	3	N. dei segmenti componenti il profilo (max. 255)
VW 501	500	Periodo iniziale (μs) del primo segmento (max. 65.535, 16 bit)
VW 503	-2	Decremento del periodo ad ogni impulso (16 bit)
VD 505	200	N. totale impulsi del primo segmento (32 bit)
VW 509	100	Periodo iniziale (μs) del secondo segmento
VW 511	0	Decremento del periodo ad ogni impulso
VD 513	3400	N. totale impulsi del secondo segmento
VW 517	100	Periodo iniziale (μs) del terzo segmento
VW 519	1	Incremento del periodo ad ogni impulso
VD 521	400	N. totale impulsi del terzo segmento