

## Prova Pratica ITS Meccatronico – 2021/2022

In Figura 1 è rappresentata una porzione di impianto automatico nella quale un sistema di scarico (rappresentato in grigio), solidale al pattino di un meccanismo di spinta a ritorno rapido, consente di trasferire su un nastro trasportatore (in blu) tre prodotti (in rosso) contemporaneamente presenti su un vassoio a tasche (in azzurro) che può muoversi lungo una rotaia (in verde). In figura, in modo solo schematico, sono mostrate una vista laterale (a) ed una vista dall'alto (b) della porzione di impianto, oltre che una vista tridimensionale del medesimo nel riquadro in alto a sinistra (c). Il sistema di scarico viene azionato ogni volta che un vassoio si posiziona di fronte ad esso. I prodotti, di conseguenza, vengono trasferiti (con traslazione verso destra) a gruppi di tre dal vassoio al nastro. Il movimento del nastro viene sincronizzato con quello dei vassoi e del sistema di scarico, per assicurare il desiderato distanziamento tra gruppi di prodotti.

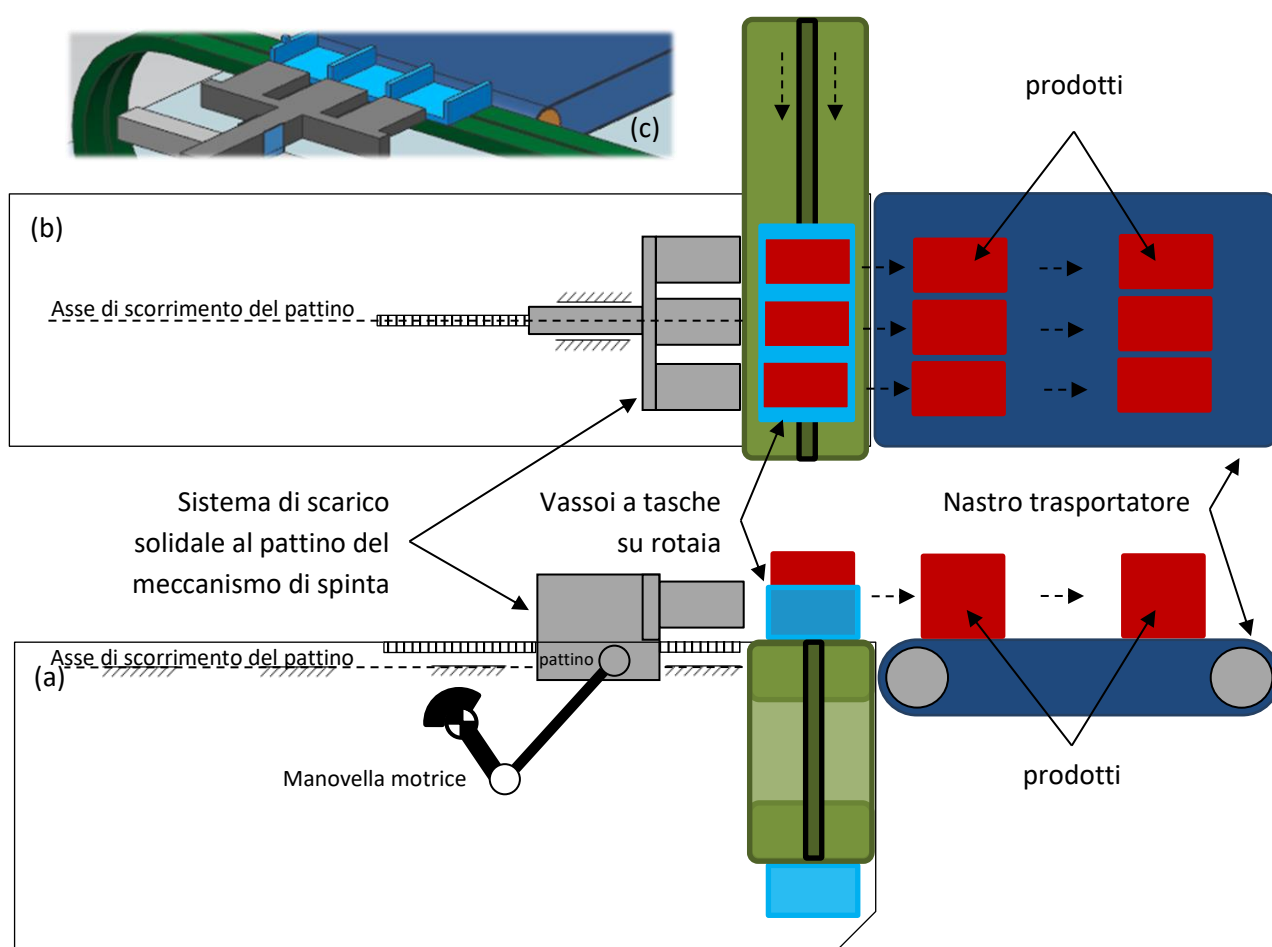
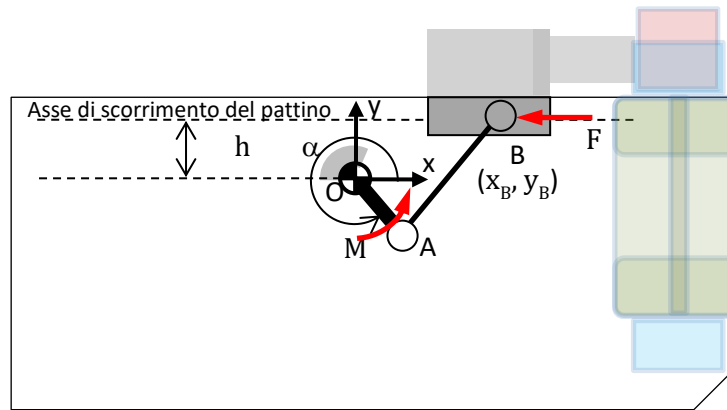


Figura 1

Il candidato troverà di seguito presentati, sotto forma di quesiti, alcuni aspetti critici relativi alla progettazione del sistema meccatronico considerato.

Si chiede ai candidati di rispondere ai Quesiti 1, 2, 4, 5 o, in alternativa, ai Quesiti 2, 3, 4 e 5.

### Quesito 1: analisi del meccanismo di spinta



**Figura 2**

Nella figura sopra (Figura 2) è schematicamente rappresentato il meccanismo di spinta a ritorno rapido (meccanismo biella manovella non centrato) che aziona il sistema di scarico dei prodotti dai vassoi al nastro. Sono anche mostrate le principali forze esterne agenti sui membri del meccanismo:

- la coppia motrice  $M$  agente sulla manovella motrice  $OA$ ,
- la forza resistente complessiva  $F$ , orizzontale, applicata dai tre prodotti presenti sul vassoio durante lo scarico. Poiché il sistema di scarico è collegato rigidamente al pattino, la forza  $F$  si può ritenere applicata direttamente al pattino nel punto  $B$ , ove il pattino realizza un accoppiamento rotoidale con la biella  $AB$ .

Si assumano trascurabili eventuali altre forze esterne agenti sui membri del meccanismo.

Si collochi il sistema di riferimento cartesiano nel punto  $O$  ove la manovella  $OA$  realizza un accoppiamento rotoidale con il telaio, siano:

- $x_B$  e  $y_B=h$  le coordinate del pattino in tale sistema di riferimento,
- $\alpha$  la posizione angolare della manovella  $OA$  misurata nel riferimento cartesiano.

Sia inoltre:

- $M_B$  la massa del sistema di scarico, che si può ritenere concentrata in  $B$ ,
- $J_0$  il momento d'inerzia della manovella espresso rispetto al polo  $O$ . Si assuma la manovella equilibrata e pertanto con centro di massa in corrispondenza del polo  $O$ ,
- trascurabile la massa della biella.

Si ipotizzi che nella configurazione mostrata sia  $\alpha=5.2$  rad e che la velocità ed accelerazione angolare della manovella  $OA$  siano rispettivamente  $\dot{\alpha} = 2$  rad/s e  $\ddot{\alpha} = 10$  rad/s<sup>2</sup> (entrambe antiorarie e quindi positive).

Dati:  $OA=0.18$  m,  $AB=0.36$  m,  $h=0.18$  m,  $F=120$  N,  $M_B=18$  kg,  $J_0=0.0081$  kg m<sup>2</sup>

1. Scrivere le equazioni scalari di chiusura di posizione, proiettate sugli assi cartesiani del sistema di riferimento mostrato in figura.
2. Nella posizione rappresentata ( $\alpha=5.2$  rad), calcolare l'inclinazione della biella AB e la posizione del pattino B, da fornire tramite le coordinate  $x_B$  e  $y_B$ .
3. Scrivere le equazioni scalari di chiusura di velocità nel sistema di riferimento mostrato in figura.
4. Calcolare la velocità istantanea del pattino sapendo che la manovella ruota alla velocità angolare  $\dot{\alpha} = 2$  rad/s. Fornire il risultato tramite le componenti di velocità orizzontale e verticale del punto B:  $\dot{x}_B$  e  $\dot{y}_B$ .
5. Calcolare il rapporto di velocità tra lo spostamento orizzontale del pattino B e quello della manovella OA.
6. Scrivere le equazioni scalari di chiusura di accelerazione nel sistema di riferimento mostrato in figura.
7. Calcolare l'accelerazione istantanea del pattino sapendo che l'accelerazione angolare della manovella è  $\ddot{\alpha} = 10$  rad/s<sup>2</sup>. Fornire il risultato tramite le componenti di accelerazione orizzontale e verticale del punto B:  $\ddot{x}_B$  e  $\ddot{y}_B$ .
8. Calcolare la coppia motrice  $M$  che è necessario applicare alla manovella al fine di equilibrare la forza resistente  $F$  ed i carichi inerziali che si manifestano nella manovella OA e nel pattino.

## Quesito 2: analisi della trasmissione di potenza per il meccanismo di spinta

(N.B. Questo esercizio può essere svolto anche nel caso non si sia affrontato o completato il Quesito 1)

Nel meccanismo studiato precedentemente, la manovella OA è azionata da un motore elettrico tramite il rotismo ordinario a denti dritti e due stadi mostrato in Figura 3.

Il motore è collegato rigidamente, ed è quindi solidale, all'albero della ruota 1 (albero motore o albero veloce), mentre la manovella OA è solidale all'albero della ruota 4 (albero condotto o albero lento).

Le ruote 2 e 3 costituiscono una coppia di ruote solidali interposte tra la ruota 1 e la ruota 4.

Si assuma che il numero di denti delle singole ruote sia:  $z_1 = 19$ ;  $z_2 = 50$ ;  $z_3 = 22$ ;  $z_4 = 53$ .

1. Calcolare il rapporto di velocità  $\tau = \frac{\omega_4}{\omega_1}$  del riduttore.
2. Calcolare la velocità angolare del motore ( $\omega_1$ ) che consente di ottenere all'albero lento, e quindi alla manovella OA, la velocità  $\dot{\alpha} = \omega_4 = 2 \text{ rad/s}$  (valore utilizzato nel punto 4 del Quesito 1).
3. Calcolare l'accelerazione angolare del motore ( $\dot{\omega}_1$ ) che consente di ottenere all'albero lento, e quindi alla manovella OA, l'accelerazione  $\ddot{\alpha} = \dot{\omega}_4 = 10 \text{ rad/s}^2$  (valore utilizzato nel punto 7 del Quesito 1).
4. Nell'ipotesi di rendimento unitario del riduttore e di carichi inerziali di motore e riduttore trascurabili, calcolare la coppia  $M_1$  che il motore deve erogare ed applicare all'albero veloce per ottenere all'albero lento la coppia  $M_4 = M$  calcolato nel punto 8 del Quesito 1. Nel caso non si sia ricavato il valore di  $M$ , utilizzare  $M=50 \text{ Nm}$  a titolo di esempio.

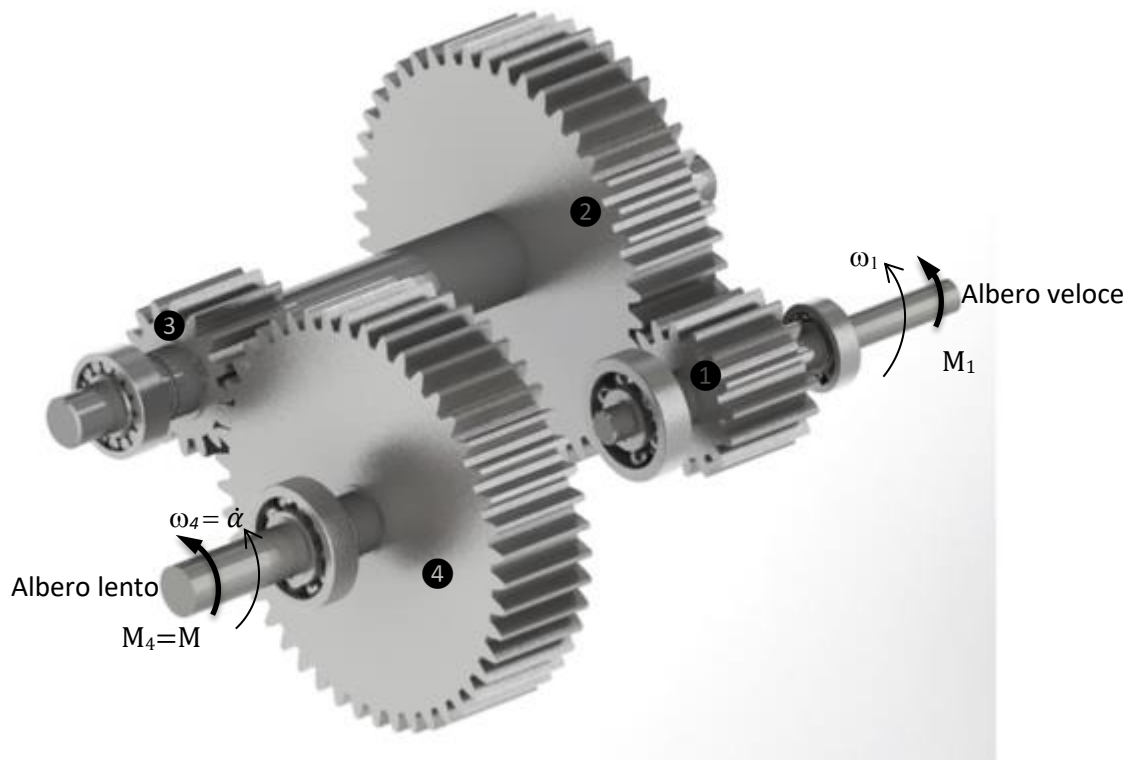


Figura 3

### Quesito 3: dimensionamento del motore e del riduttore del nastro trasportatore

Il moto del nastro trasportatore dell'impianto mostrato in Figura 1 viene sincronizzato con quello dei carrelli e del sistema di scarico, per assicurare il desiderato distanziamento tra gruppi di prodotti. In Figura 4, a sinistra, vengono mostrati due gruppi di prodotti scaricati dai carrelli ad una distanza  $d$  gli uni dagli altri.

Nella medesima figura, a destra, viene rappresentato schematicamente il meccanismo equivalente costituito da un motore, un riduttore epicicloidale ed un carico con momento di inerzia costante che, espresso all'albero lento del riduttore, è pari a  $J_c = 1.5 \text{ kgm}^2$  (tale valore comprende il contributo delle pulegge, del nastro e degli oggetti trasportati). Sono inoltre presenti delle forze di attrito, che possono essere rappresentate mediante una coppia di attrito  $C_c$  applicata all'albero lento del riduttore, il cui valore massimo in modulo è  $2 \text{ Nm}$ . Non ci sono altre forze esterne applicate.

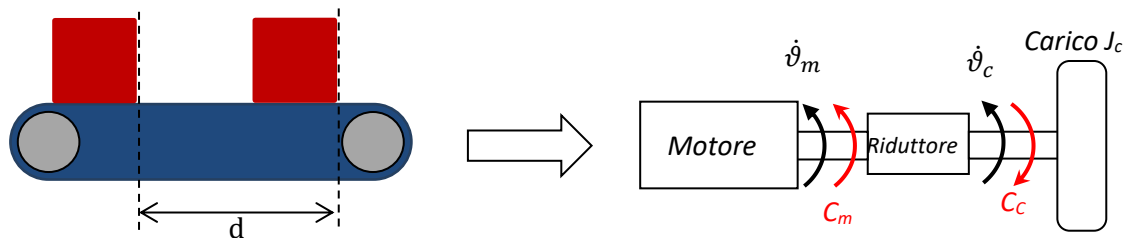


Figura 4

Si supponga che il carico debba effettuare la movimentazione ciclica rappresentata in Figura 5 con profilo di velocità trapezoidale.

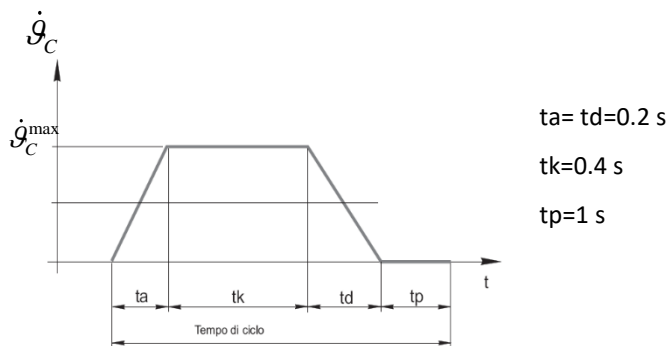


Figura 5

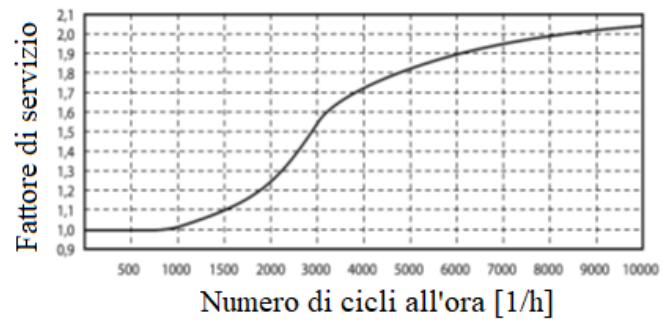
1. Si scriva l'equazione del modello dinamico del meccanismo equivalente nell'ipotesi di rendimento unitario del riduttore epicicloidale e considerando anche i momenti di inerzia del motore ( $J_m$ ) e del riduttore ( $J_r$ , riportato all'albero veloce).
2. Considerando che il raggio della puleggia che aziona il nastro è  $R_p = 0.1 \text{ m}$ , si calcoli la rotazione  $h$  (rad) richiesta alla puleggia per eseguire una traslazione del carico lineare pari a  $d = 0.6 \text{ m}$ . Si calcoli quindi la velocità massima all'albero lento del riduttore,  $\dot{\vartheta}_c^{\max}$ , e si calcoli l'accelerazione massima all'albero lento del riduttore  $\ddot{\vartheta}_c^{\max}$ .

3. Si calcoli, per ognuna delle 4 fasi del ciclo, la risultante delle coppie applicate all'albero lento (ossia il momento torcente  $T_2$ ).
4. Si definisca se il ciclo di lavoro del riduttore è intermittente o continuativo, in relazione al duty cycle.
5. Si scelga la classe (taglia) del riduttore tra quelli disponibili a catalogo, assumendo un margine di sicurezza di almeno il 20%.
6. Si calcolino i limiti alla scelta del rapporto di trasmissione in relazione alle caratteristiche del riduttore, assumendo un margine di sicurezza di almeno il 20%.
7. Si calcoli il rapporto di trasmissione ottimo, adottando eventuali formule semplificate qualora pertinenti al caso in esame.
8. Si scelga il rapporto di trasmissione.
9. Si calcolino, per ognuna delle 4 fasi, la coppia e la velocità richieste al motore con il riduttore scelto.
10. Si verifichi se i motori proposti sono idonei in termini di verifica termica (curva continuativa) e si scelga un motore tra quelli disponibili a catalogo con un margine di sicurezza di almeno il 20%.

#### CATALOGO DEI RIDUTTORI EPICICLOIDALI

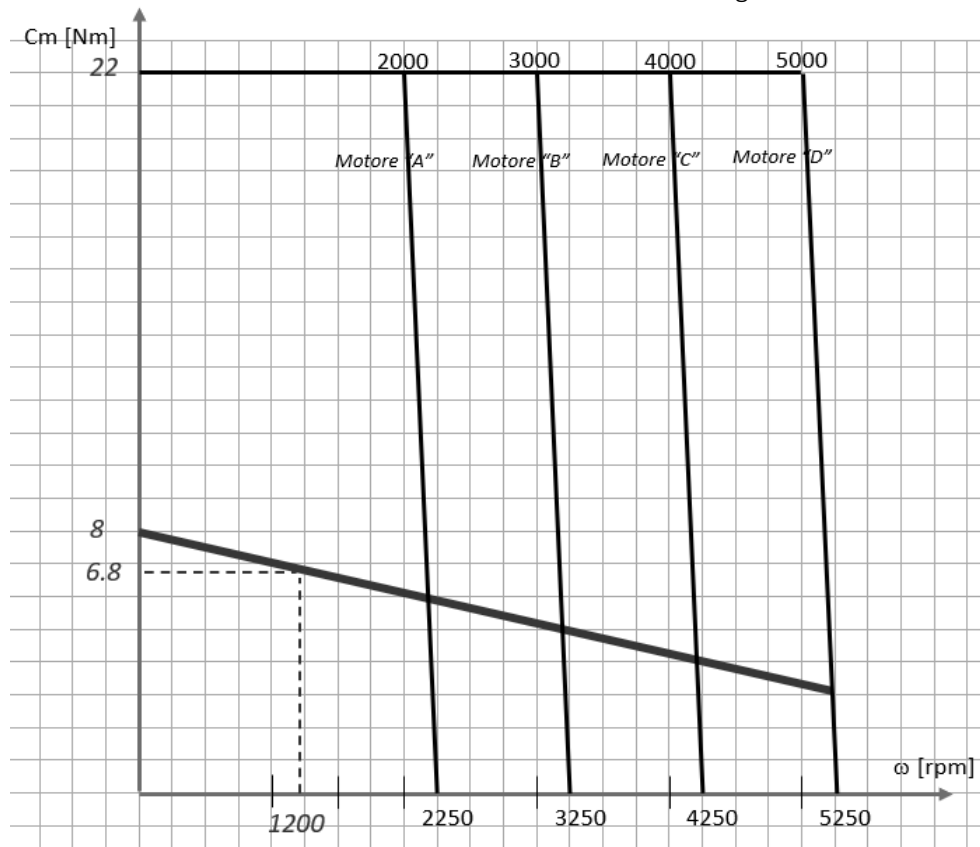
	i	T2B [Nm]	T2N [Nm]	n1max [rpm]	n1N [rpm]	Jr [kg cm <sup>2</sup> ]
<b>Classe1</b>	12	95	40	5500	4000	5
	28	95	40	5500	4000	5
	40	95	40	5500	4000	5
	50	95	40	5500	4000	5
	70	95	40	5500	4000	5
	100	95	40	5500	4000	5
<b>Classe2</b>	12	140	80	4000	3500	20
	28	140	80	4000	3500	20
	40	140	80	4000	3500	20
	50	140	80	4000	3500	20
	70	140	80	4000	3500	20
	100	140	80	4000	3500	20
<b>Classe3</b>	12	250	130	3500	3000	80
	28	250	130	3500	3000	80
	40	250	130	3500	3000	80
	50	250	130	3500	3000	80
	70	250	130	3500	3000	80
	100	250	130	3500	3000	80

Per la definizione del fattore di servizio in funzione del numero cicli ora, si consideri il seguente grafico.



### CATALOGO DEI MOTORI

Momento di inerzia di tutti i motori:  $J_m = 50 \text{ kgcm}^2$



#### Quesito 4: progettazione di un sistema di misura

Si consideri il sistema di misura di Figura 6, pensato per rilevare la posizione assoluta  $x$  di un vassoio a tasche lungo la rotaia rappresentata in verde nell'impianto mostrato in Figura 1. Il sistema consista in un sensore di posizione lineare assoluta con uscita analogica, un blocco di condizionamento  $c$  posto in prossimità del sensore, un cavo di collegamento tra  $c$  e un successivo ADC. L'ADC sia infine collegato ad un blocco di elaborazione numerica dei campioni acquisiti  $P$  (Processing).

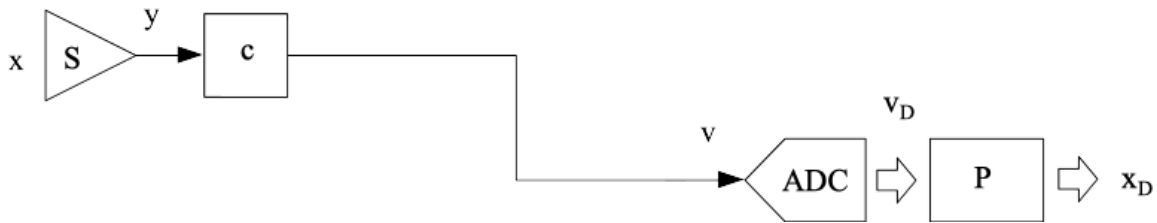


Figura 6

$S$  sia lineare con Input Range  $[0,2]$ m, offset  $V_{ofs}=2$  V, sensibilità  $s=-2$  mV/mm e incertezza  $U_x=0.4$ mm,  $c$  un blocco per l'adattamento di scala con offset  $V_0$  e guadagno  $k_0$ . L'ADC abbia un input range  $[0,8]$  V e numero di bit  $B$ .

Si risponda ai successivi punti.

- 1) Si esprima in formule e con un disegno la transcaratteristica del sensore (tenendo conto anche dell'incertezza).
- 2) Si progetti il blocco  $c$  nel modo ritenuto ottimale.
- 3) Si determini il numero di bit  $B$  necessario per avere una risoluzione complessiva inferiore a 0.4 mm.
- 4) Scelto  $B$ , si determini la risoluzione dell'ADC e dell'intero sensore.
- 5) Si determini l'operazione svolta da  $P$  sui campioni  $v_D$  al fine di riportare in uscita stime  $x_D$  di posizione.
- 6) Tenendo conto dell'incertezza, riportare il risultato della misurazione nel caso di stima  $v_D$  in tensione di 1.75 V.



### Quesito 5: manutenzione dell'impianto

L'azienda che utilizza l'impianto automatico descritto in precedenza ha dovuto fronteggiare il problema della previsione del fabbisogno di ricambi di alcuni componenti critici del sistema. Analizzando lo storico dei consumi del ricambio "vassoio a tasche" (numerosi vassoi si muovono lungo la rotaia) è stato possibile costruire la seguente tabella.

mese	domanda (pz)
1	12
5	4
9	11
12	14
17	15
22	7
25	18
27	13
30	13
36	20
39	7
42	12
46	11
49	10
50	14
53	13
54	8
55	23
58	14

Si analizzi il consumo storico del ricambio "vassoio a tasche" e si calcolino i valori di CV e ADI che lo caratterizzano. Si indichi quindi il tipo di consumo e si motivi il suo tenore di *Lumpiness*.

Considerando ora il ricambio "guida del pattino" (una coppia di guide identiche consente di realizzare l'accoppiamento prismatico tra il pattino del meccanismo biella manovella ed il telaio), considerando un consumo annuo medio di 6 pz/anno, sapendo che il suo costo di acquisto è di 1000 €/pz, il costo annuo di stoccaggio è del 25% e che il costo di fermo impianto dovuto alla mancanza del ricambio "guida del pattino" è di 2000 €/pz, l'azienda detentrica dell'impianto si approvvigiona ogni mese. Impiegando la distribuzione di Poisson, si calcoli il numero ottimale di ricambi "guida del pattino" da mettere in magazzino. Si motivino tutti i calcoli e le formule utilizzate.