

GUIDA

# Scegliere i cavi giusti per motori passo-passo o servosistemi

Cablaggio per motori passo-passo o servosistemi



**KOLLMORGEN**

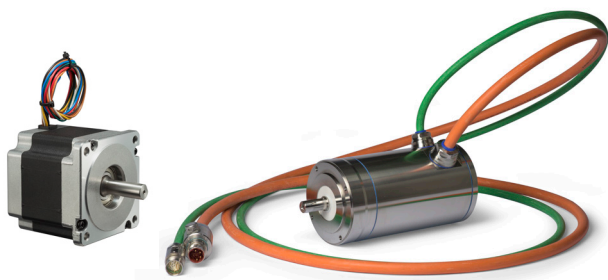
I tecnici dedicano molti sforzi e parecchio tempo alla progettazione di sistemi di posizionamento per motori passo-passo o servomotori che siano altamente efficienti, affidabili ed economici. Scelgono un motore, un controller, circuiti di retroazione adatti e un amplificatore per soddisfare le esigenze specifiche del sistema di motion.

Sfortunatamente, i cavi di segnale e alimentazione che collegano i componenti sono tuttavia spesso trascurati finché il progetto non è quasi alla fine o, peggio ancora, vengono affidati ad un elettricista che non dispone della formazione adeguata. Trascurare fattori critici per la scelta dei cavi può portare a un sistema con accuratezza inferiore al previsto, guasti frequenti, bassa immunità all'interferenza elettromagnetica ed effetti avversi sulle apparecchiature vicine.



## STRUTTURA DI BASE DEI CAVI

I cavi sono progettati e prodotti con caratteristiche mirate ad un'applicazione specifica per ottenere le massime prestazioni. Ciascun elemento della struttura di base dei cavi ha un ruolo univoco. Tutti i cavi contengono alcuni dei seguenti elementi, se non tutti: conduttori singoli o multipli con amperaggio corretto, isolamento con idonee specifiche di interruzione della tensione, una schermatura completa o più schermature per singoli conduttori o doppini, e una guaina per proteggere il cavo da influssi meccanici, chimici e ambientali. Ulteriori elementi dei cavi possono includere un filo di drain o di messa a terra utilizzato con gli schermi in lamierino, nastri adesivi, fili di supporto in acciaio integrati e componenti di riempimento per conferire al cavo una forma circolare in sezione trasversale uniforme.



## CRITERIO DI SELEZIONE

La scelta del cavo inizia con la caratterizzazione delle condizioni operative che influiscono su di esso durante il funzionamento, quali temperatura, umidità, esposizione agli agenti chimici, abrasione, flessione e durata prevista. Il tipo adatto e lo spessore dell'isolamento selezionato dipendono dalle tensioni di esercizio. Il numero di conduttori e i requisiti di corrente sono specificati dal produttore del motore e dell'azionamento. Opzioni possibili includono conduttori separati per alimentazione e retroazione o un unico cavo composito. L'interferenza elettromagnetica che influisce sui segnali nel cavo e su altre apparecchiature adiacenti al cavo determina la necessità di una schermatura. L'interferenza può essere presente tra conduttori dello stesso cavo e tra il cavo e l'ambiente circostante. Il principale fattore di accoppiamento che contribuisce all'interferenza è l'induttanza. Se l'area tra i conduttori è troppo ampia, il segnale troverà percorsi alternativi, non previsti, che causano l'accoppiamento ai segnali alternativi. Per diminuire ulteriormente la tendenza all'accoppiamento, la riduzione dell'area tra i conduttori del percorso previsto si ottiene ritorcendo i doppini. Si consigliano fino a quattro giri per pollice.

Alcune applicazioni richiedono cavi fissi, ad esempio in sistemi in cui il motore e l'azionamento sono fissi l'uno rispetto all'altro. In queste situazioni, passerelle e cunicoli vengono usati di frequente per instradare i cavi. Le passerelle garantiscono inoltre un'elevata resistenza alla fiamma e per avere la marcatura TC o CR, i cavi devono superare speciali test per la certificazione UL (Vertical Tray Flame Test) o CSA (Vertical Flame Test). Se viene usato un cunicolo (tubazione metallica), occorre consultare la Tabella 1, Capitolo 9, del manuale del National Electric Code® (NEC®) per reperire il numero massimo di conduttori ammessi in un cunicolo a seconda delle dimensioni e della temperatura degli stessi.

## ISOLAMENTO E CAMICIA

Per l'isolamento del conduttore viene usato un materiale specifico, diverso da quello della camicia: ciascuno di essi ha un ruolo diverso nella struttura del cavo. Un tipo di isolamento isola elettricamente singoli conduttori o coppie di conduttori in un cavo. A titolo di confronto, la guaina rappresenta la "pelle" del cavo e protegge i conduttori, l'isolamento e la schermatura dall'ambiente circostante, da impatti meccanici e da sostanze chimicamente aggressive. Alcuni prodotti, ad esempio un normale cavo di aggancio e cavi di alimentazione disponibili in commercio, hanno solo un singolo strato isolante o che agisce principalmente come guaina fisica di protezione. Tuttavia, la maggior parte dei cavi industriali contiene entrambi i tipi di isolamento. Il materiale della guaina è la fonte primaria di attrito all'interno delle traiettorie di movimento e la scelta del materiale è altrettanto importante per il successo o il fallimento del sistema.

L'ambiente esterno, inclusa la temperatura ambiente e il calore creato dalla corrente che scorre attraverso i conduttori, determina la temperatura di esercizio massima del materiale isolante. In generale, il valore della temperatura può essere considerato come la temperatura massima del conduttore che può essere tollerata in sicurezza dall'isolamento. Questo è vero in particolare per i cavi di alimentazione. Tuttavia, se un cavo (anche un cavo di retroazione) viene instradato in prossimità di una macchina che genera calore, occorre tenere conto delle temperature ambiente.

Un tipico valore nominale per cavi di alimentazione e controllo è 600 V. Questo valore si riferisce unicamente all'isolamento del conduttore, non alla guaina. Si tratta

Altre applicazioni possono includere movimenti occasionali e non ripetitivi di componenti di servosistemi, mentre in altre macchine il motore potrebbe essere in costante movimento rispetto al resto del sistema come nel caso di un braccio di robot. La flessibilità richiesta ai cavi ha un ruolo centrale nella scelta dei singoli componenti: conduttori, isolamento, schermatura e materiale della camicia.

della tensione operativa massima che si può applicare tra il conduttore e un componente adiacente, quale un altro conduttore, una schermatura o un oggetto conduttore posto all'esterno del cavo. UL® non riconosce le proprietà di isolanti della guaina come parte del valore di tensione. La guaina viene considerata principalmente come un elemento di protezione e di legatura del cavo.

L'isolamento e la guaina del conduttore realizzati con il materiale isolante più comunemente utilizzato, ovvero polivinilcloruro (PVC), sono adatti per molte applicazioni di motion control, tra cui cavi a flessione continua. Macchine utensili, robot, sistemi di prelievo e deposito, dispositivi di movimentazione di materiale e catene portacavi sono solo alcuni esempi. Sono adatte varie formulazioni di PVC, ma un tipico cavo con guaina in PVC ha di norma un intervallo di temperatura statica -30 °C a 70 °C. Un requisito di flessione restringe il limite inferiore della temperatura a -5 °C. Inoltre, conduttori multipli riducono la superficie termica per la dissipazione e riducono quindi la potenza per una determinata misura del cavo.

L'etilenpropilene (EP) è meno resistente al benzene e a vari olii, ma ha eccellenti proprietà di resistenza agli UV e all'ozono. Le camicie in poliuretano (PU) vengono usate in molti cavi a flessione continua. Il materiale è robusto ed estremamente flessibile e garantisce protezione superiore per cavi a contatto con agenti chimici quali acidi, alcali, solventi e fluidi idraulici. L'intervallo di temperatura è più ampio rispetto al PVC e molte formulazioni utilizzate sono ritardanti di fiamma e vantano notevoli proprietà autoestinguenti.

Guardando però il rovescio della medaglia, camicie e isolamenti in poliuretano sono difficili da tagliare, spelare e terminare, soprattutto a mano. La combinazione di isolamento in PVC per singoli conduttori e camicia in poliuretano semplifica la fabbricazione dei cavi e mantiene un eccellente livello di protezione.

In condizioni dinamiche, la reticolazione di taluni polimeri non è ben documentata. Esistono linee guide generali, ma luce UV, calore, umidità ed esposizione agli agenti chimici sono variabili che influiscono sulle equazioni. Trascurare questi fattori significa aprire le porte a guasti prematuri.

**Tabella 1. Tabella di confronto tra il materiale dell'isolamento e della camicia**

Proprietà	Materiale isolamento e camicia		
	PVC	Etilpropilene	Poliuretano
Resistenza all'abrasione	B	O	E
Resistenza a strappo e taglio	O	O	E
Flessibilità a bassa temperatura	B	O	E
Resistenza UV	O	E	E
Resistenza all'ozono	E	E	E
Resistenza all'acqua	E	O	E
Resistenza all'olio per trasformatori	O	D-B	E
Resistenza alla benzina	S	D	E
Resistenza al cherosene	S	B	O
Candeggina	D	E	D
Etilenglicole	B	E	D

E = Eccellente, O = Ottimo B = Buono, D = Discreto, S = Scarso

### CAVI AD ALTA FLESSIONE (HIGH FLEX) E A FLESSIONE CONTINUA (CONTINUOUS FLEX)

In numerose applicazioni di motion control, il motore, il dispositivo di retroazione o entrambi si spostano frequentemente o costantemente rispetto al controller. Una disposizione di questo tipo richiede speciali cavi ad elevata flessibilità. I cavi ad alta flessione e a flessione continua includono una combinazione di conduttori, materiale isolante, schermature e guaine appositamente scelti che permettono loro di resistere agli urti meccanici.

In un tipico cavo a flessione continua i conduttori possono essere formati da numerosi trefoli extra-fini in rame nudo con speciale isolamento extra-flessibili in PVC e una camicia in poliuretano. Le schermature a spirale inversa garantiscono una maggior flessibilità rispetto

alle schermature intrecciate, un aspetto importante per applicazioni con alta flessione e flessione continua. Tuttavia, le schermature intrecciate in rame hanno migliorato l'immunità ai disturbi elettromagnetici e, in combinazione con fascette di fissaggio, semplificano notevolmente la messa a terra. Alcuni cavi contengono lubrificante secco per ridurre l'attrito di scorrimento tra l'isolamento di singoli conduttori, schermature e camicia durante flessioni con raggio ridotto.

I cavi a flessione lineare (Linear Flex) possono essere piegati solo in una direzione e non vanno ritorti, pertanto si parla di flessione bidirezionale. Le diffusissime catene di alimentazione mantengono il cavo orientato in modo che si fletta in un'unica direzione. I costruttori di macchinari spesso sono costretti a scegliere connettori per cavi quando questi devono essere flessi su due o più assi.



I requisiti relativi al raggio di curvatura rappresentano una specifica spesso trascurata. Il raggio di curvatura determina la durata di servizio di un cavo a flessione continua. Quanto minore è il raggio, tanto più breve sarà la durata. Il raggio di curvatura massimo ammesso per il cavo è indicato come il fattore N moltiplica per il diametro esterno del cavo, ad esempio "12 X diametro cavo" dove  $N = 12$ . Cavi a flessione continua correttamente selezionati e installati hanno una durata prevista di svariati milioni di cicli di flessione. Sono stati sviluppati speciali cavi piatti per ridurre il limite del raggio di curvatura dinamico. Cavi standard con raggio di curvatura statico pari a 10 volte il diametro e raggio di curvatura dinamico (in movimento) pari a 12-15 volte il diametro, determinerebbero una macchina eccessivamente alta. Il valore aggiunto è un fattore relativo al costo di spedizione di cui tenere conto, oltre ad un problema di utilizzabilità. Questi cavi flessibili piatti sono essenziali in vista dei requisiti finali della guaina indicati dal costruttore.

## TERMINAZIONE



I cavi possono guastarsi prematuramente, soprattutto in applicazioni ad alta flessione, se non sono adeguatamente terminati. La perdita di un collegamento elettrico dovuta a una terminazione non adeguata è una delle cause più comuni di guasti. I contatti dei connettori devono essere scelti in funzione delle dimensioni dei fili del cavo. Se non è disponibile un'aggraffatura a macchina, occorre utilizzare gli utensili manuali adatti per

stabilire collegamenti elettrici e meccanici affidabili tra il conduttore e il contatto. La presenza di graffe allentate può causare la corrosione e il distacco dei collegamenti elettrici. Inoltre, un'aggraffatura eccessiva tende a tagliare i trefoli indebolendo il conduttore e creando punti caldi dovuti alla maggior densità di corrente. Tipicamente, in applicazioni con hardware volante (Flyable Hardware) e di supporto vitale si utilizzano terminazioni saldate per evitare questi inconvenienti.

Per il fissaggio dei cavi al motore si può scegliere tra connettori dritti e ad angolo retto. Motori più grandi richiedono spesso connettori rotondi con involucro in metallo o in plastica stampata. Molti motori di piccole dimensioni fanno uso di connettori rettangolari in plastica più piccoli o hanno fili senza terminazioni. Per i collegamenti in linea attraverso la parete di un alloggiamento o di un armadio in metallo si usano connettori passanti. Molti azionamenti per servomotori e motori passo-passo sono dotati di morsettiere per la terminazione dei cavi di alimentazione. In alternativa, numerosi sistemi passo-passo sono provvisti di collegamenti IDC. Questi devono essere limitati alle applicazioni statiche, dal momento che i movimenti comprometterebbero il connettore.

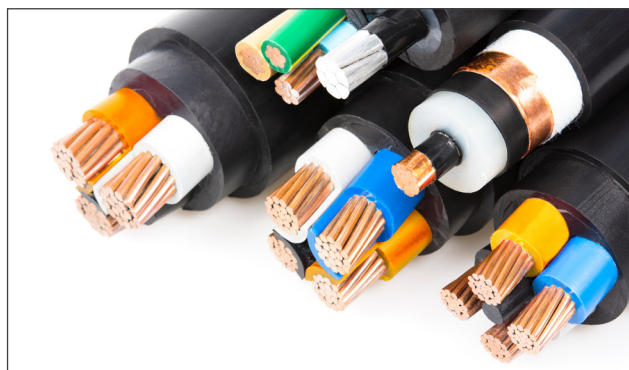
Un'adeguata messa a terra delle schermature è necessaria per ridurre le emissioni, aumentare l'immunità ed evitare infortuni causati dalle correnti di terra. Le pratiche standard consigliano di allacciare i cavi motore schermati al pannello posteriore dell'azionamento con morsetti metallici.

Installare un cavo di lunghezza appena sufficiente sollecita inutilmente i punti di terminazione del cavo e può creare gomiti che riducono l'affidabilità del sistema. D'altro canto, un cavo eccessivamente lungo (oltre i requisiti imposti dal layout) aumenta il costo globale del sistema e può compromettere le prestazioni. Cavi di retroazione più lunghi del necessario compromettono i segnali a causa della resistenza, dell'induttanza e della capacità intrinseche, e aumentano i disturbi. Cavi di alimentazione attorcigliati eccessivamente lunghi riducono le tensioni dell'azionamento in corrispondenza dei terminali del motore e fungono da antenne che irradiano interferenze elettriche.

## CONDUTTORI

Un cavo può contenere un singolo conduttore o più conduttori isolati, disposti a coppie che trasportano la corrente per i circuiti di alimentazione e di controllo. Il rame è il materiale più comunemente utilizzato per fili e cavi. Nei moderni sistemi di motion non si impiegano di regola conduttori in alluminio o acciaio. I conduttori possono essere pieni (un unico filo di rame) o intrecciati, dove il conduttore composito è costituito da più trefoli ritorti e pieni di dimensioni inferiori.

Una placcatura di stagno migliora la resistenza alla corrosione e la saldabilità di conduttori e singoli trefoli. Una placcatura di argento o nichel protegge i conduttori a temperature ancora superiori, 200 °C per l'argento o 450 ° per il nichel, ma questi metalli vengono usati di rado. Il rame nudo si ossida rapidamente a queste temperature che però non si incontrano tipicamente nei cablaggi di motori passo-passo e servomotori. Quando occorre la massima flessibilità, come nei cavi a flessione continua, un cavo costituito da conduttori di rame nudo con numerosi trefoli fini rappresenta la scelta migliore.



Per scegliere le dimensioni di un conduttore, si deve tenere conto della sua posizione e della presenza di altri conduttori. Per un dato valore di corrente, un conduttore posto all'interno dell'alloggiamento di una macchina che genera calore deve essere più grande di un conduttore esposto all'atmosfera esterna in una struttura dotata di aria condizionata. In base alla specifica "NEC 75 ° C" mostrata nella Tabella 310-16, i conduttori in cavo che collega il motore all'azionamento devono avere un amperaggio non inferiore al 125% della corrente a pieno carico del motore. L' amperaggio è definito come la corrente massima che un conduttore può trasportare prima di superare il limite di temperatura. Per materiali isolanti con valori di temperatura inferiori o superiori e per applicazioni con temperature ambiente elevate si devono utilizzare fattori nominali.

**Tabella 2. Amperaggio consigliato per conduttori di cavi motore/azionamento**

Dimensioni conduttore AWG o MCM	Sezione trasversale conduttore Area, mm <sup>2</sup>	Amperaggio per 75°C NEC Tabella 310-16, A
20	0,5	5
18	0,8	7
16	1,3	10
14	2,1	15
12	3,3	20
10	5,3	30
8	8,4	50
6	13,3	65
4	21,2	85
2	33,6	115
1	42,4	130
1/0	53,5	150
2/0	67,4	175
3/0	85,0	200
4/0	107,2	230
250 MCM	126,6	255
300 MCM	152,0	285
350 MCM	177,4	310
400 MCM	202,7	335

## SCHERMATURA

Lo scopo di un cavo schermato viene spesso frainteso. La schermatura può essere applicata su singoli conduttori, coppie di conduttori e sull'intero cavo. Nella maggior parte dei cavi, la schermatura è coperta da una guaina. La combinazione di una schermatura totale e di fili ritorti aiuta a ridurre la radiazione elettromagnetica dal cavo. La schermatura impedisce anche alle radiazioni esterne o ai campi elettrostatici di penetrare nel circuito e interrompere la normale trasmissione dei segnali. Questo fenomeno è critico soprattutto per i cavi che trasportano segnali di retroazione e altri segnali di basso livello.

I cavi resolver e altri cavi di retroazione hanno spesso vari livelli di protezione dalle interferenze elettriche. Prima di tutto, singoli doppini vengono ritorti per ridurre le radiazioni elettromagnetiche da segnali analogici e digitali. Ogni doppino ritorto viene quindi posto in una schermatura per ridurre i disturbi tra doppini adiacenti. Talvolta occorrono perline di ferrite, nuclei di ferrite tipo morsetto e condensatori per attenuare le interferenze elettromagnetiche (EMI). Una schermatura finale completa in ferro può garantire una protezione di massimo livello da interferenze elettromagnetiche ed elettrostatiche e abbattere le emissioni in applicazioni critiche. Tra queste si possono citare aviazione, difesa o supporto vitale, ma questa necessità sta emergendo anche nelle moderne attrezzature industriali per mantenere la conformità con le direttive sulla compatibilità elettromagnetica (EMC) per le attrezzature industriali.

È necessario comprendere i fattori di accoppiamento dei disturbi EMI e il tipo di schermatura che occorre per eliminare questi disturbi. L'utilizzo di una schermatura in lamierino per disturbi con accoppiamento induttivo non è ideale, anzi potrebbe peggiorare la situazione qualora una schermatura non adeguatamente messa a terra diventasse un radiatore. I disturbi irradiati talvolta influiranno solo su un altro dispositivo a oltre  $\frac{1}{2}$  lunghezza d'onda di distanza, ragion per cui la conformità EMC per le radiazioni inizia a 30 MHz. In effetti, un segnale ad alta potenza a 30 MHz verrà ricevuto da qualsiasi dispositivo a oltre 5 metri di distanza se è dotato di un'antenna con  $\frac{1}{20}$  della lunghezza d'onda, ovvero 0,5 m. L'unica domanda riguarda il livello di disturbo.

In altri casi, l'onda magnetica con questa frequenza può accoppiarsi mediante induzione a valori molto inferiori. Non potrà essere caratterizzata come segnale di tensione a 30 MHz, ma rappresenta comunque un problema. Per eliminare questo tipo di disturbi si dovrebbero utilizzare schermature intrecciate con almeno l'80-95% di copertura, o una schermatura con fili ritorti. Tutti i connettori devono essere in metallo (la plastica metallizzata probabilmente non sarà efficace). Le migliori pratiche prevedono di schermare la sorgente e il ricevitore e disabilitare il metodo di accoppiamento. Una schermatura adeguata si comporterà in questo modo.

Può non essere ovvio, ma anche i cavi di alimentazione richiedono schermature in alcune applicazioni. Le schermature dei cavi di alimentazione contengono le emissioni EMI generate nei conduttori per proteggere le apparecchiature e i cablaggi adiacenti. Spesso, i controller di movimento azionano diversi tipi di motori passo-passo e servomotori con correnti di commutazione ad alta frequenza per ridurre al minimo le perdite nei semiconduttori di alimentazione. Il parametro interessato è il rapporto  $dv/dt$ , ovvero il rapporto tra il tempo di salita o di discesa del segnale di commutazione e l'entità della tensione alla quale il semiconduttore viene commutato. Tensioni di commutazione con  $dv/dt$  ampio e ripido producono correnti con livelli elevati di interferenze intorno al cavo di alimentazione che deve quindi essere schermato. Queste correnti possono essere facilmente accoppiate in maniera capacitiva attraverso altri sistemi. Il cavo di alimentazione è una sorgente primaria di EMI che alla fine viene accoppiata induttivamente ad altri macchinari all'interno dello stabilimento. La schermatura deve essere sufficiente per 30 MHz in macchinari industriali e valori superiori per apparecchiature mediche.

Una schermatura totale adeguatamente messa a terra garantisce inoltre un'ulteriore protezione dagli urti. Se l'isolamento del cavo di alimentazione è danneggiato e il conduttore risulta esposto, molto probabilmente cortocircuiterà la schermatura messa a terra e attiverà un interruttore automatico o un fusibile prima di ferire qualcuno.

## CONNETTORI

La scelta dei connettori influisce sia sulla scelta del tipo di cavo che sull'affidabilità globale. Per ciascun collegamento risulta una riduzione dell'affidabilità. Le



variabili sono ridurre al minimo il numero di connettori prolungando però al massimo la durata del cavo, aumentando la possibilità di manutenzione, e i costi. In sistemi in cui occorrono raggi di curvatura limitati, si sceglie un cavo piatto. Poiché la maggior parte dei connettori per motori non includono connettori per questi cavi, occorre raggiungere un compromesso. Il cavo deve essere terminato all'interno del connettore per il motore oppure si deve prevedere un connettore all'interno del cavo. Con un sistema a portale, tipico delle applicazioni di taglio e delle attrezzature per assemblaggio di componenti elettronici, due assi di movimento, X e Y, richiedono di norma un cavo di interconnessione che attraversa le catene in movimento. Il limitato raggio di curvatura richiede uno speciale connettore piatto che trasporta dati, potenza, corrente del motore e tensioni del bus DC per la testata in movimento della macchina. I segnali vengono di norma separati in corrispondenza della testata da connettori che agevolano la sostituzione a discapito dei costi per il connettore e di una riduzione dell'affidabilità.

## CERTIFICAZIONI E MARCATURE

L'acquisto di cavi già certificati da standard regionali può contribuire ad assicurare un processo molto più fluido per la certificazione dell'intero sistema. Il National Electrical Code (NEC) è la principale fonte di riferimento per vari tipi di cavi standardizzati. In base ad esso, le tabelle devono essere stampate chiaramente e indicare informazioni su dimensioni, tensione, temperatura e isolamento dei conduttori, nonché un elenco delle marcature. Le marcature applicate ai cavi venduti negli Stati Uniti sono UL (Underwriters' Laboratories Incorporated), CSA (Canadian Standard Association) o entrambe. I cavi destinati all'Europa devono essere conformi alle Direttive CE Bassa tensione e Conformità EMC ed essere marcati di conseguenza. I test CE per la conformità EMI come CISPR 11 richiedono il controllo delle emissioni a 1 GHz. Per questo occorrono cavi con schermature intrecciate e una copertura a 360 gradi.

# NEC

La marcatura UL stampata sulla guaina del cavo significa che l'UL ha valutato e approvato il cavo. Tuttavia, l'UL valuta solo il cavo per accertarne la sicurezza per gli utenti. Diverse proprietà dei cavi quali facilità di pelatura, terminazione e saldatura, o disturbi tra conduttori multipli, non sono di interesse per gli enti certificatori. Inoltre, la presenza della marcatura UL sul cavo collegato a un motore o a un azionamento non significa che il motore e l'azionamento sono stati testati e certificati.



## Servono risposte? Diventa partner Kollmorgen

Kollmorgen non è un semplice fornitore, è un partner che si dedica al tuo successo. Offriamo l'accesso diretto, da tecnico a tecnico, ai progettisti che creano i nostri sistemi di motion e che sanno come soddisfare requisiti specifici nel settore delle macchine. I nostri strumenti di progettazione autoguidati ti aiuteranno a creare, scegliere e ottimizzare i prodotti online. Inoltre, grazie alla nostra presenza globale a livello di produzione, progettazione, applicazione ed assistenza, avrai sempre accesso a forniture affidabili, competenza di co-progettazione e supporto personalizzato che nessun altro partner è in grado di offrire. Se desideri modificare una macchina esistente o creare una macchina di nuova generazione che diventerà il punto di riferimento per i tuoi clienti, possiamo aiutarti a progettare l'eccezionale.

Pronto a scoprire tutto quello che può fare la tua macchina? Visita [www.kollmorgen.com](http://www.kollmorgen.com)