

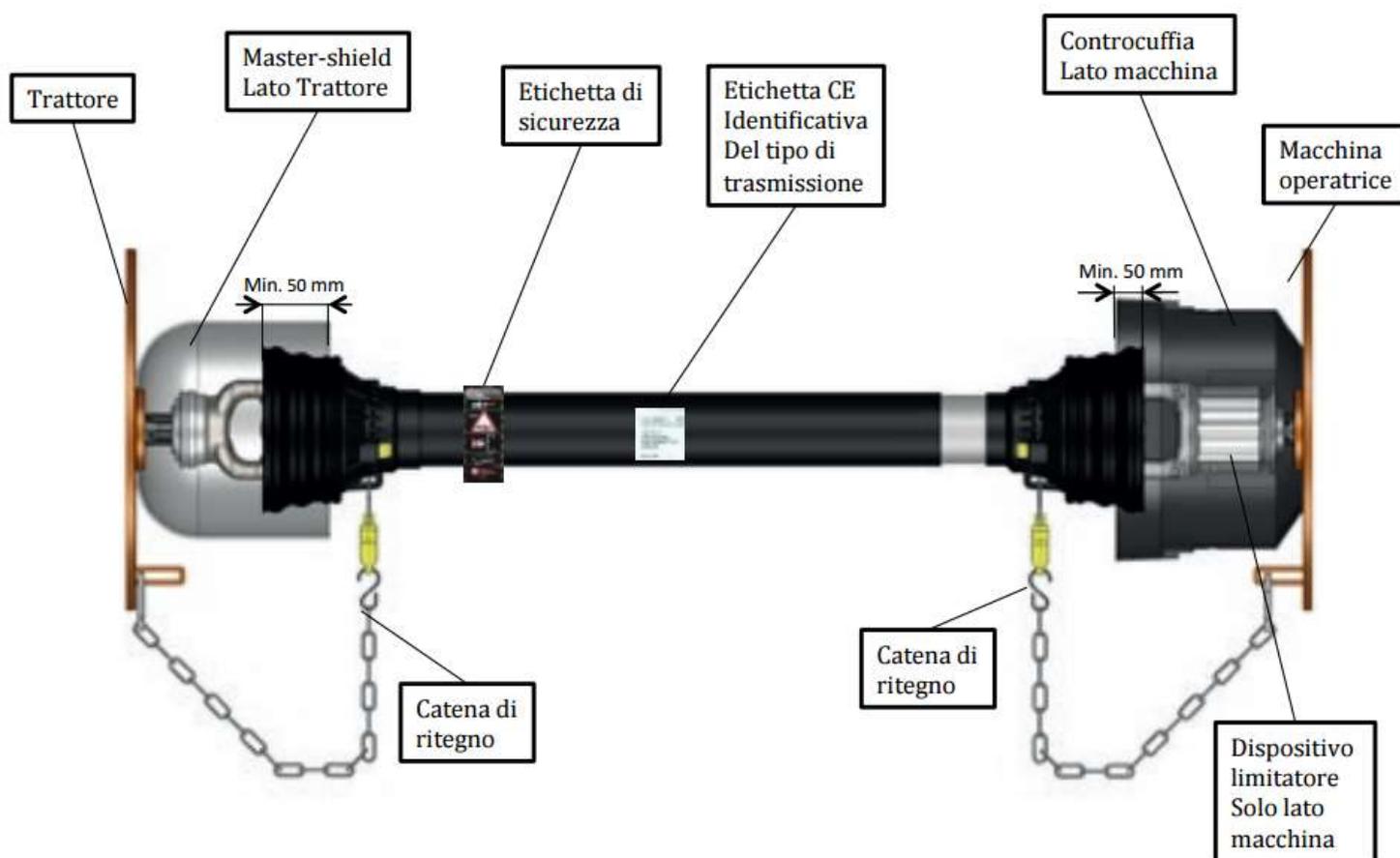


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE E AMBIENTALI
PRODUZIONE, TERRITORIO, AGROENERGIA

DISPENSA DEL CORSO DI
MECCANIZZAZIONE AGROFORESTALE

Prof. D. Pessina
a.a. 2021/22

ALBERO CARDANICO



Premesse

Nonostante la notevole importanza e la capillare diffusione degli alberi di trasmissione nella moderna meccanizzazione agricola, a questo dispositivo non è quasi mai stata attribuita la giusta importanza, nonostante il tema si presenti molto interessante non solo dal punto di vista tecnico, viste le continue innovazioni che i costruttori apportano ai loro prodotti, ma anche dal punto di vista della salvaguardia della sicurezza degli operatori.

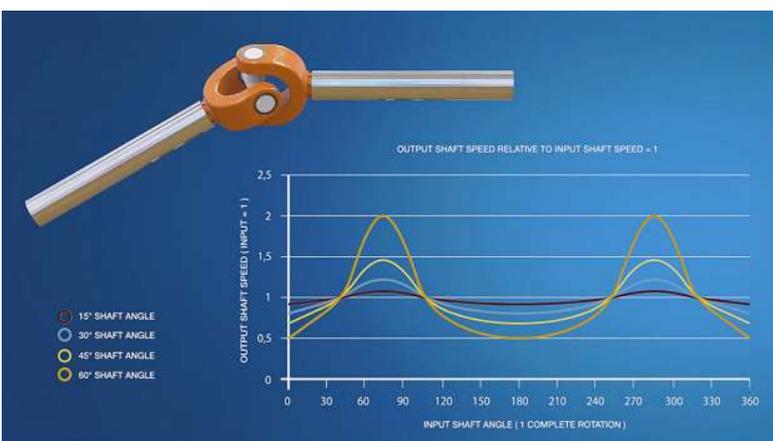


Molti gravi (talvolta mortali) incidenti avvengono proprio perché nell'uso dell'albero cardanico non sempre si osservano scrupolosamente le norme d'uso e di manutenzione che devono essere obbligatoriamente indicate sul libretto di istruzioni.

Giunto cardanico semplice

Il suo nome deriva da quello del suo inventore, il matematico italiano Gerolamo Cardano, vissuto nel XVI secolo; si tratta di **un organo meccanico che permette la trasmissione di movimento e potenza tra alberi ad assi concorrenti**, che formano angoli più o meno ampi.

Di base, il giunto cardanico è costituito da una crociera su cui si articolano due forcelle; la crociera permette alle forcelle di ruotare attorno agli assi Y e Z. *In agricoltura è necessario che tale rotazione possa raggiungere, ad alberi non rotanti, i 90°.*



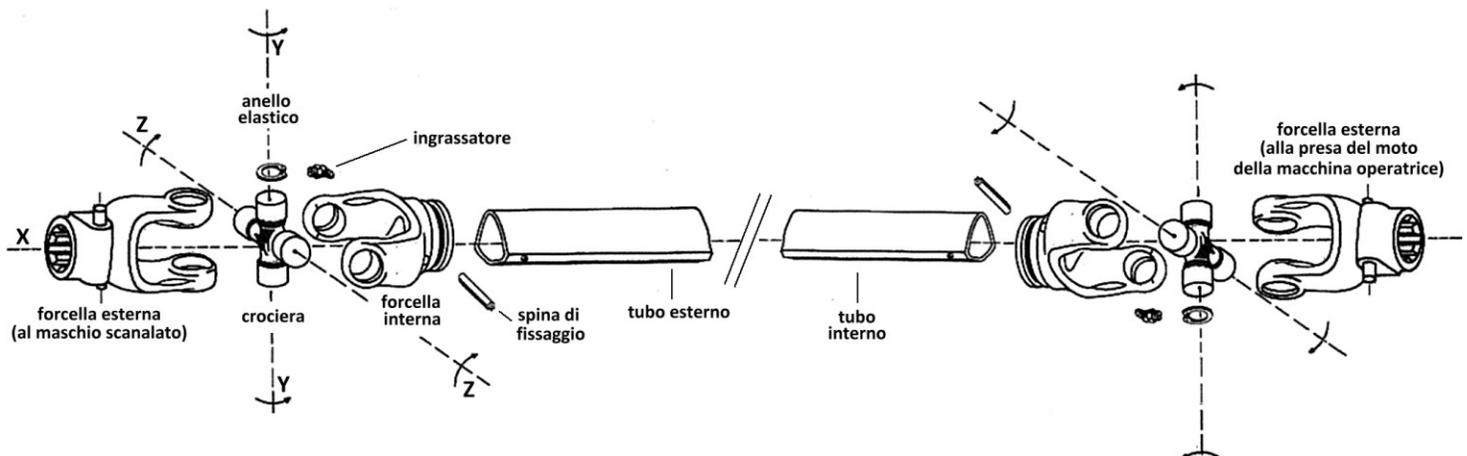
Per effetto dell'angolo formato dagli assi degli alberi collegati, il rapporto di trasmissione istantaneo (inteso come rapporto delle velocità istantanee delle forcelle motrice e condotta) non è costante, ma ha un andamento periodico di tipo sinusoidale, per cui anche nel caso in cui la velocità della forcella motrice sia uniforme (come quasi sempre avviene nelle applicazioni agricole), la velocità della **forcella condotta** è variabile istante per istante, quindi **ruota di moto accelerato**. Qualora sia collegata ad una massa volanica, ciò genera coppie inerziali, con insorgenza di fenomeni vibrazionali tanto più ampi e pericolosi quanto maggiore è l'angolo di snodo.

A causa dei limiti illustrati il giunto semplice trova applicazione solo come dispositivo interno alle macchine operatrici dove le suddette condizioni possono essere adeguatamente controllate.

Albero cardanico

Per le più generali esigenze del settore agricolo è necessario invece fare ricorso all'albero cardanico, ovvero **l'insieme di due giunti semplici collegati da un albero telescopico, secondo l'asse X (asse longitudinale)**, in grado di assecondare le variazioni più o meno istantanee di distanza fra trattore e operatrice che si verificano normalmente in fase di lavoro e soprattutto di manovra, a causa delle irregolarità della superficie del terreno.

L'albero cardanico collega dinamicamente il maschio scanalato della presa di potenza del trattore con la corrispondente presa del moto della macchina operatrice, sia essa trainata o portata all'attacco a 3 punti, assumendo posizioni relative variabili che l'albero cardanico deve avere la capacità di assecondare.



L'albero cardanico ha:

- la capacità di trasmettere il moto tra alberi i cui assi siano disposti in modo qualsiasi nello spazio, ovviamente entro ben determinati limiti;
- la possibilità di mantenere un angolo di lavoro totale tra le forcelle alle sue estremità maggiore di quello di un giunto semplice, in quanto somma degli angoli di lavoro dei due giunti componenti.



Componenti principali dell'albero cardanico

Forcelle

Sono realizzate **in acciaio stampato e lavorate secondo elevati standard qualitativi**. Con le normali forcelle è possibile raggiungere angolazioni dello snodo di 45° per brevi periodi, mentre per un uso continuativo non deve essere superato un angolo di 35°. A riposo, in assenza di rotazione, le forcelle permettono un ripiegamento dello snodo ad angolo retto.



Crociera

Il dimensionamento della crociera è finalizzato al **miglior compromesso tra elasticità e durata**, dovendo tra l'altro resistere a sovraccarichi e urti. La loro lavorazione prevede strette tolleranze dimensionali ed elevati gradi di finitura.



anelli elastici



Tubi telescopici

I tubi sono **dimensionati per una coppia torcente massima di sicurezza**. Sono trattati superficialmente per minimizzare l'attrito di scorrimento e aumentarne la durezza, tramite tempra e cementazione. I profili più comuni sono a **"limone"** (a due lobi, ma in disuso), a sezione **triangolare** e con **albero scanalato**; sul mercato si trovano però anche tubi a sezione **quadrangolare**, esalobato e altri profili speciali. In particolare, gli alberi scanalati sono adatti per potenze elevate da trasmettere, continuativamente per lunghi periodi), poiché facendo combaciare sottocarico l'intera altezza dei denti, distribuiscono le sollecitazioni su ampie superfici di contatto, in modo da limitare l'usura delle superfici.

SEZIONI

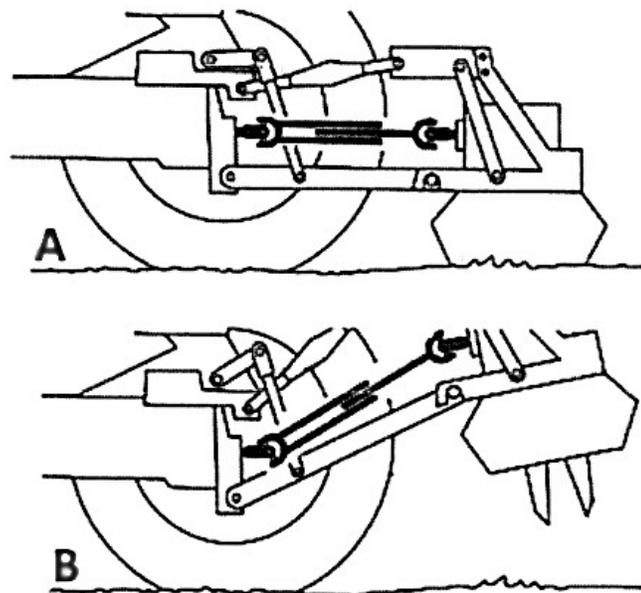


a "limone"



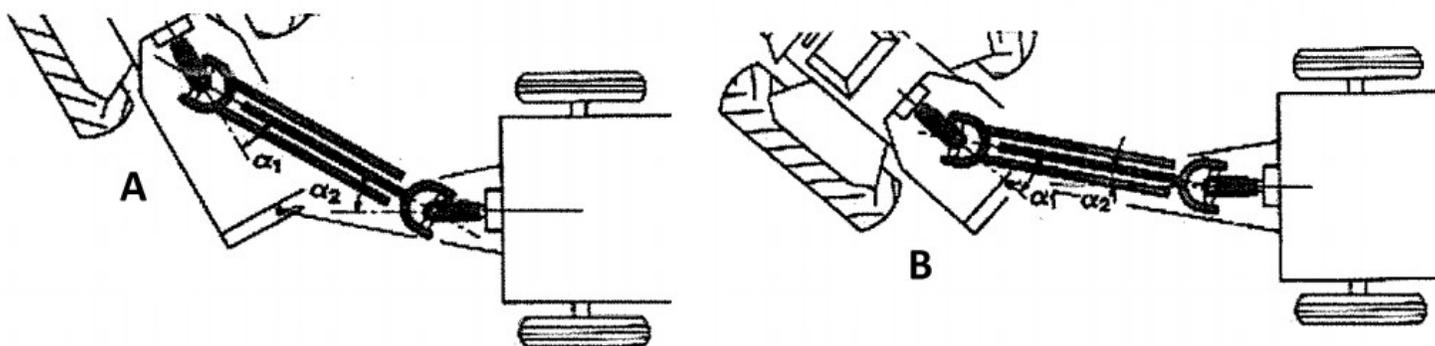
Collegamento per operatrici portate e trainate

Con l'**attrezzatura portata** all'attacco a tre punti in lavoro si ha una lunghezza ridotta dell'albero e angoli di snodo sono pressoché uguali (**A**). Viceversa, quando l'attrezzo è sollevato si verifica la massima estensione dell'albero, con incremento e diversificazione degli angoli di snodo (**B**). Per elevate altezze di sollevamento pertanto può essere necessario per sicurezza interrompere la rotazione.



Invece, per le **macchine trainate** l'albero assume la maggior lunghezza durante il lavoro in linea e si accorcia in fase di sterzata. Se il punto di traino è equidistante dalle prese del moto (**A**), l'angolo di sterzata è ugualmente ripartito tra i giunti, e la trasmissione è sempre omocinetica. Se invece, come purtroppo più frequentemente accade, il punto di traino non è equidistante dalle prese del moto (**B**), in fase di sterzata si incrementa prevalentemente l'angolo del giunto più vicino al punto di traino stesso, che quasi sempre è quello del lato trattore. **Si genera così irregolarità di trasmissione, con conseguenti vibrazioni e rumore.**

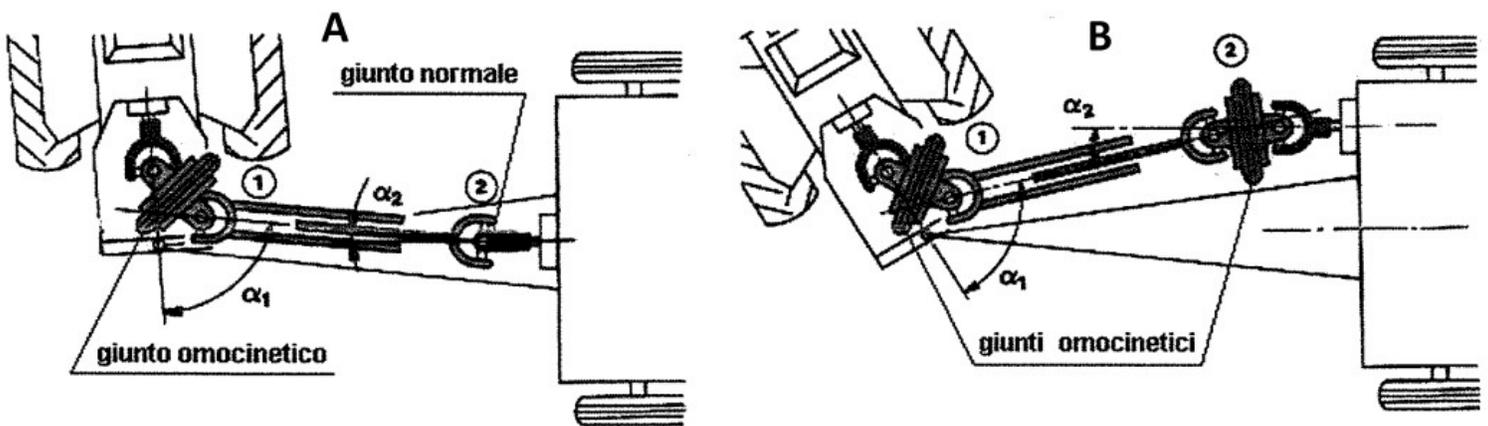
Oltre certi limiti, stabiliti da ogni costruttore per i propri modelli, tale irregolarità è **incompatibile** con un funzionamento sicuro, ed è pertanto necessario limitare l'angolo di sterzata o, più convenientemente, arrestare il movimento, disinserendo la presa del moto.



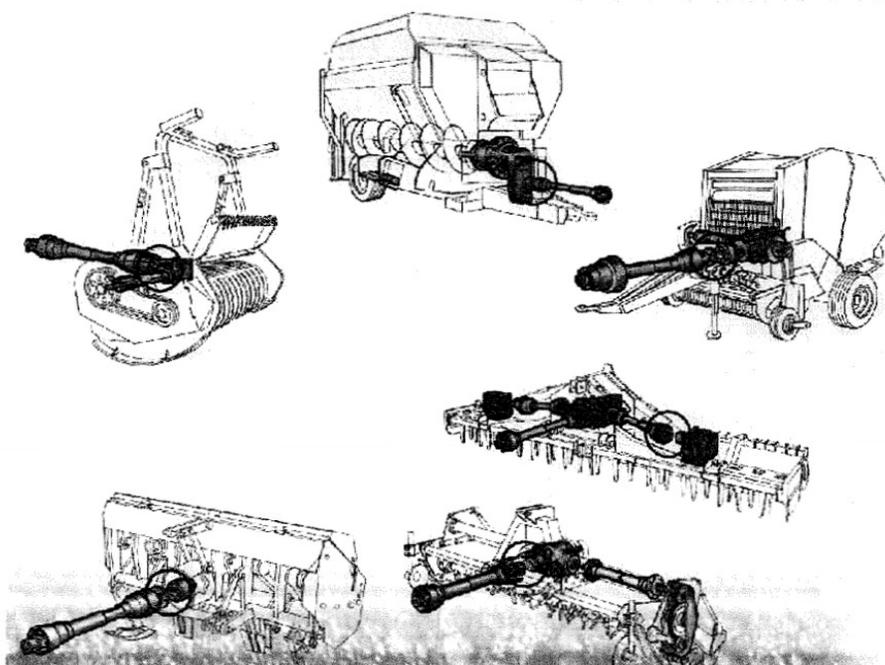
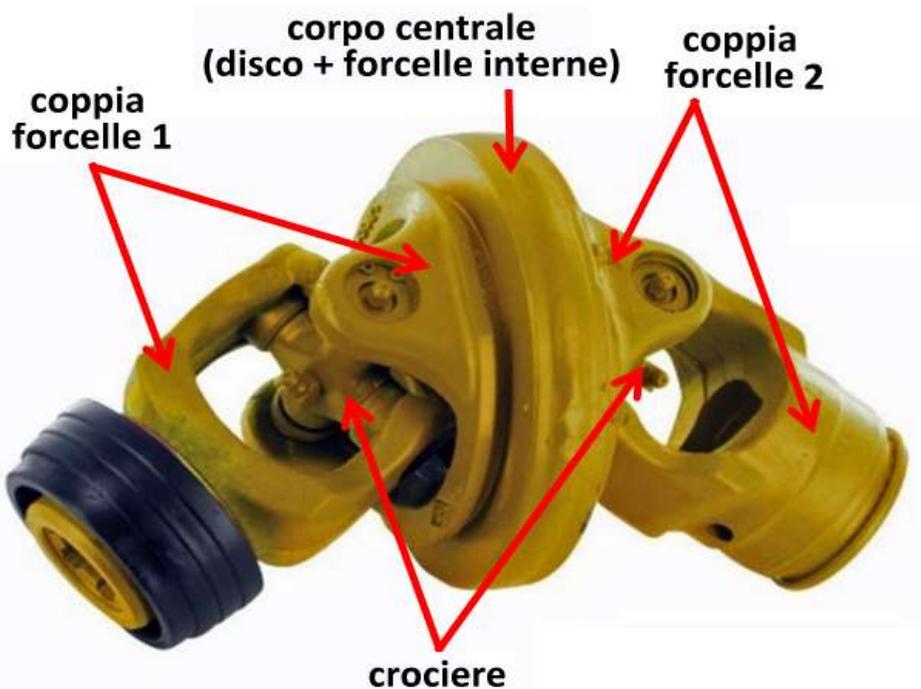
Il giunto omocinetico

Nella pratica, **molte macchine agricole azionate tramite la presa di potenza e l'albero cardanico hanno assoluta necessità**, sia in fase di lavoro che in fase di manovra, **di superare i valori di angoli di trasmissione ammissibili**. Senza dubbio, in tali frangenti è possibile disinserire la presa di potenza e quindi arrestare l'albero cardanico, ma ciò risulta di evidente scomodità, perdita di tempo (con riduzione della produttività del lavoro) e possibili gravi conseguenze in caso di una eventuale dimenticanza di effettuazione della manovra.

Una soluzione decisamente più moderna ed efficiente, prevede l'adozione di un albero cardanico dotato di **giunto omocinetico** che, come indica l'etimologia della parola, è in grado di **mantenere uguale la velocità in entrata ed in uscita con qualsiasi angolo di snodo**. L'albero cardanico può quindi essere dotato di **uno solo o anche di due giunti omocinetici**, presenti in quest'ultimo caso ad entrambe le estremità del dispositivo.



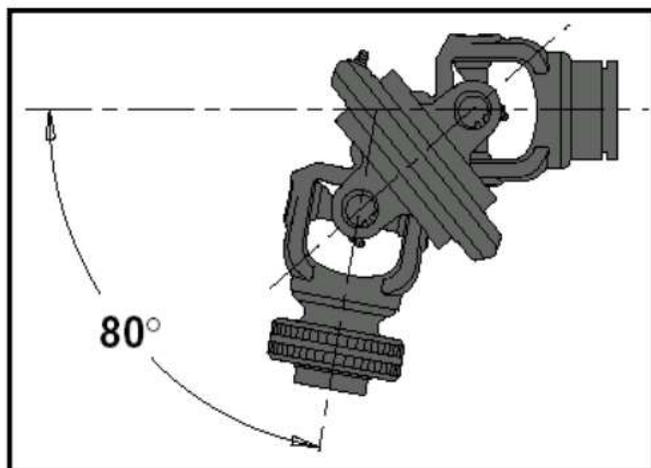
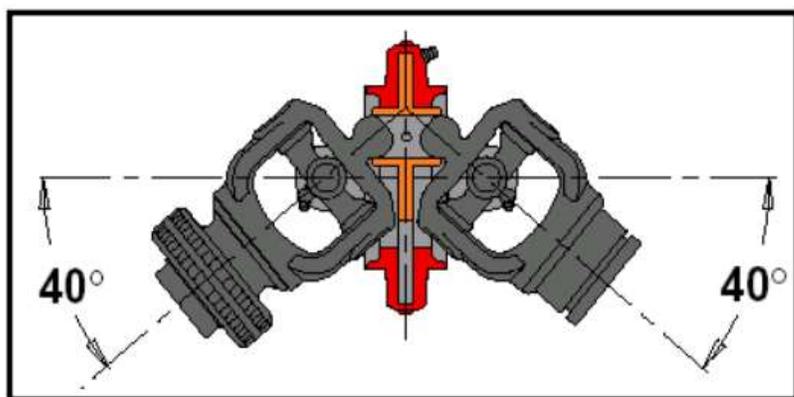
Il **giunto omocinetico è quindi un doppio giunto, con due forcelle esterne collegate con due crociere ad un corpo centrale**, costituito da un disco e due forcelle interne, solidali ad esso. Il dispositivo è autosupportante e presenta una tipica conformazione a "botte" del corpo centrale. Questa forma non è casuale, ma è opportunamente studiata in modo da permettere, in manovra, un angolo di lavoro massimo di ben 80°.



L'applicazione più frequente dell'albero cardanico con giunti omocinetici si ha per le **macchine trainate con punto di attacco significativamente decentrato rispetto alla presa di potenza del trattore**, quali raccogliballatrici, falciacondizionatrici, atomizzatori, carri autocaricanti, carri miscelatori, ecc.

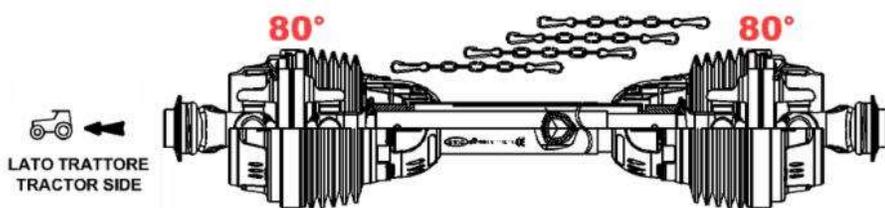
Peraltro, per un funzionamento accettabile della trasmissione, montando un solo giunto omocinetico il giunto semplice su lato opposto deve lavorare allineato, o almeno con un angolo di lavoro non superiore a 15° circa, poiché tutta la trasmissione risente della sua irregolarità.

Se questa ulteriore condizione non è soddisfatta si deve necessariamente prevedere la trasmissione con giunti omocinetici ad entrambe le estremità.



albero cardanico con
un giunto omocinetico

albero cardanico con
due giunti omocinetici



In definitiva l'albero cardanico con doppio giunto omocinetico è utilizzato con profitto quando i due giunti lavorano con angoli molto diversi e quindi con velocità diseguali.

In tal caso, **pur costituendo un costo più elevato, l'impiego di questa versione del dispositivo comporta una migliore produttività del lavoro, tale da compensare ampiamente nel tempo l'onere iniziale.**

Sistemi di fissaggio alle prese del moto

Esistono in commercio numerose soluzioni di attacco, tutte comunque finalizzate ad un unico scopo, quello cioè di fissare in sicurezza le estremità dell'albero cardanico; un eventuale sfilamento con l'albero in rotazione (il cosiddetto "sbandieramento") avrebbe infatti conseguenze gravissime, sia a carico del trattore e dell'operatrice, sia soprattutto a danno dell'operatore.

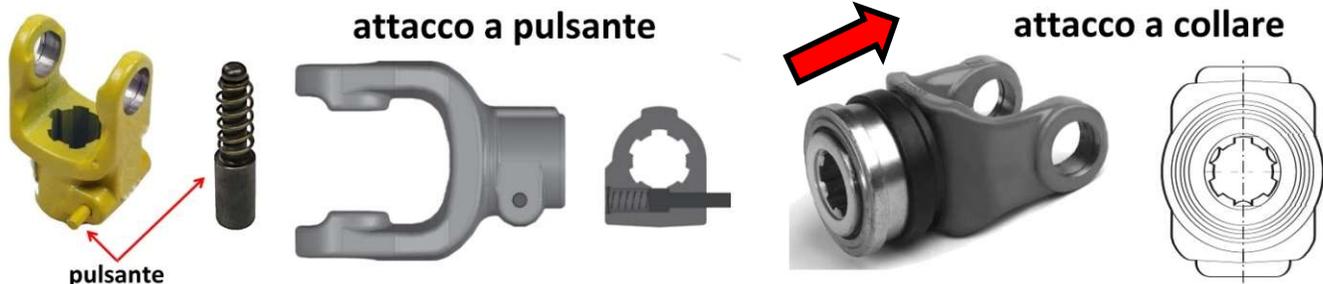
L' **attacco rapido a pulsante** è gran lunga il più comune.

La manovra di fissaggio si ottiene agendo sul pulsante che si impegna/disimpegna nella gola della presa di moto. Il pulsante è montato in una sede ricavata sul mozzo della forcella e mantenuto in posizione di impegno dalla molla di contrasto.

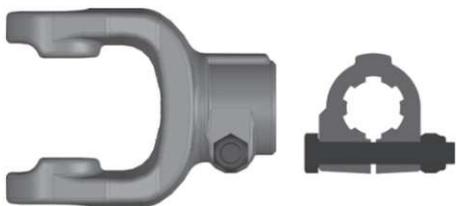
Problemi abbastanza comuni di tale tipo di attacco sono il parziale grippaggio del pulsante e/o della molla, con conseguenti difficoltà di attacco, ma soprattutto di stacco, dovuto ad insufficienti ingrassaggi e/o a lunghi periodi di inattività.

Più di recente, sono stati introdotti altre soluzioni, atte a risolvere, o quantomeno a minimizzare tale problema, come l'attacco a collare.

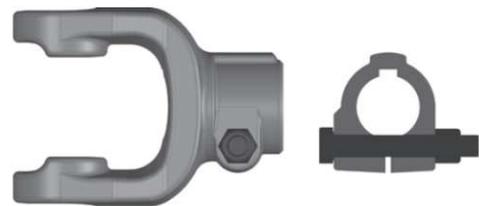
In relazione alle modalità di fissaggio, **gli attacchi con bullone o con spina** sono invece adatti all'accoppiamento permanente o semipermanente dell'albero cardanico.



attacco a bullone non interferente



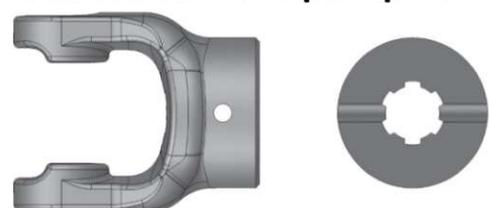
attacco a bullone interferente



attacco a bullone conico



attacco con foro per spina



Dispositivi di sicurezza contro i sovraccarichi

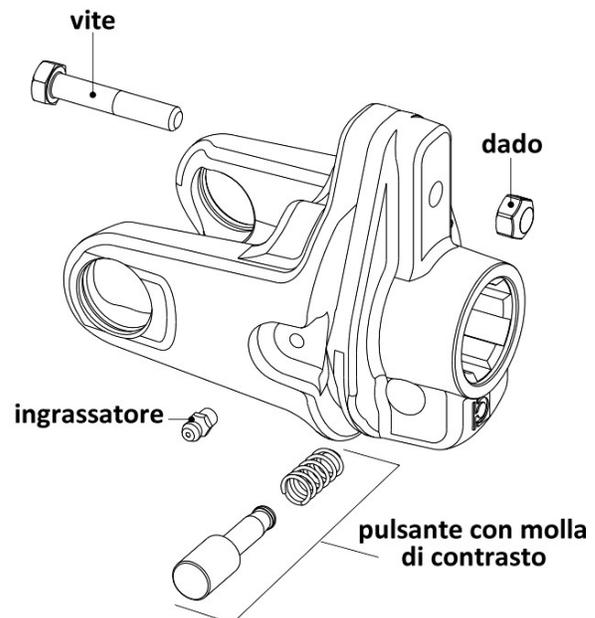
Sono meccanismi in grado di controllare il valore di una o più grandezze del moto, al fine di **salvaguardare la macchina operatrice e la trasmissione cardanica** c/o rendere più agevoli determinate fasi di lavoro. Ciò permette:

- un dimensionamento più razionale ed attento della macchina;
- un migliore utilizzo dell'albero cardanico;
- un più alto livello di sicurezza dell'applicazione.

Solitamente, i dispositivi di sicurezza si montano sull'albero cardanico tramite la sostituzione di una delle forcelle di estremità, senza che tale intervento alteri la cinematica di funzionamento. I dispositivi di sicurezza risultano tarati per determinati valori nominali di coppia da trasmettere, con una tolleranza relativamente bassa ($\pm 10\%$), definiti in base ai valori della coppia di lavoro ed alla resistenza della trasmissione nel suo insieme.

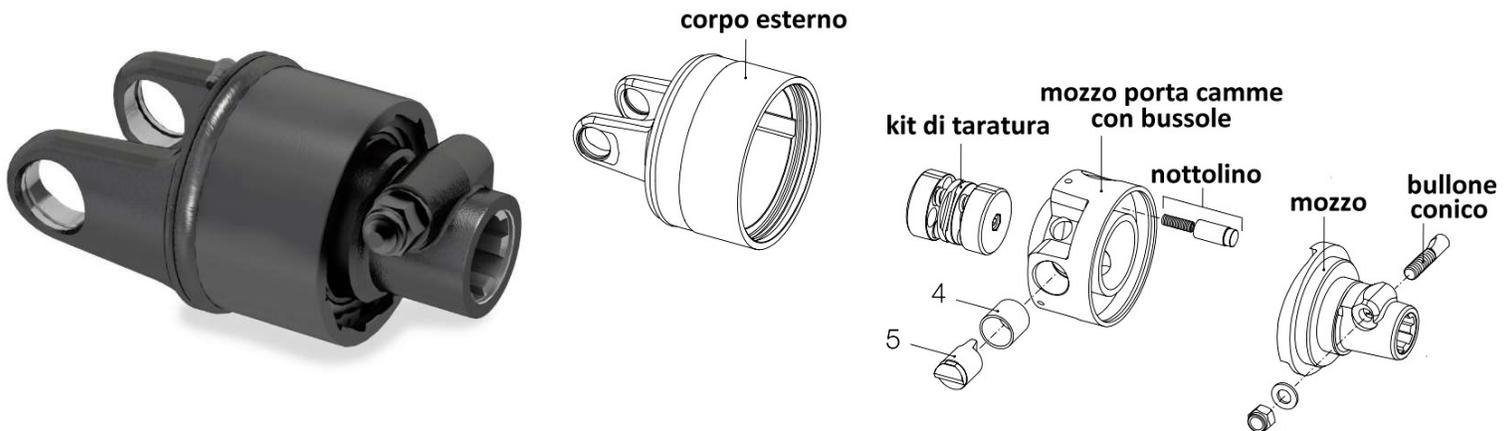
Limitatore a bullone a tranciamento

L'elemento "attivo" è un perno (bullone), soggetto a tranciamento per sforzo di taglio qualora la coppia trasmessa superi il limite di rottura. **Agisce interrompendo in modo irreversibile la trasmissione della potenza.** Per il ripristino, è assolutamente necessario sostituire la vite tranciata con una di uguale diametro, classe di resistenza e lunghezza. **In un ambito come quello agricolo, ciò potrebbe risultare problematico, per indisponibilità del ricambio idoneo.**



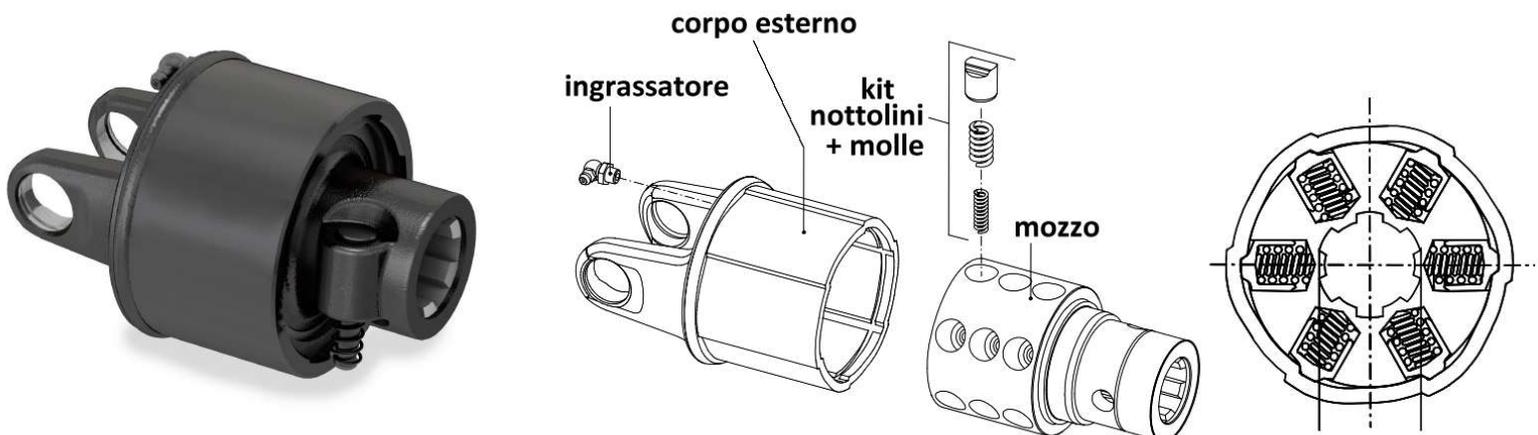
Limitatore a ruota libera

Permette la trasmissione di potenza dal trattore alla macchina operatrice, ma non viceversa. Tale caratteristica, a prima vista superflua, risulta invece **importante per il corretto funzionamento di attrezzature provviste di una forte massa rotante** (ad es. il volano della pressa imballatrice per balle parallelepipedo), per impedire che, in caso di malfunzionamento, l'inerzia accumulata dal volano stesso si scarichi per periodi più o meno lunghi sulla presa di potenza del trattore, con pericolo di deformazioni o rotture. E' un **meccanismo reversibile**.



Limitatore a nottolini

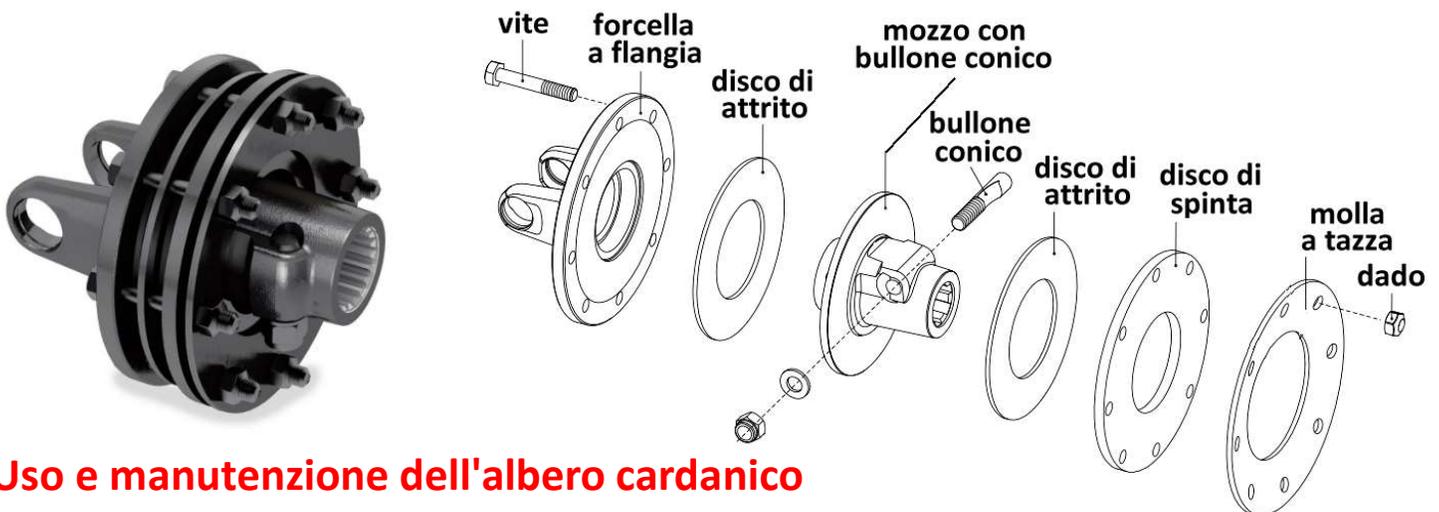
E' un limitatore di coppia a camme e nottolini elastici, ad effetto radiale. Agisce interrompendo la trasmissione di potenza qualora la coppia trasmessa superi il valore di taratura. All'intervento del limitatore, i nottolini comprimono la molla corrispondente, fuoriuscendo dalla sede originale e scorrendo rapidamente in quelle successive. Ne consegue un'elevata rumorosità e un riscaldamento per attrito del dispositivo. E' importante pertanto arrestare prontamente il moto, per evitare dannose usure del dispositivo. Se il sovraccarico viene eliminato, il limitatore si ripristina automaticamente, per cui si tratta di un **meccanismo reversibile**.



Limitatori a dischi di attrito (a frizione)

La rotazione relativa tra le superfici interessate alla frizione limita il valore della coppia trasmessa. Sono utilizzati sia contro il sovraccarico, sia soprattutto per l'avviamento di macchine operatrici a forte inerzia. La soglia di intervento può essere regolabile, registrando la precompressione della molla a tazza, avvitando o allentando i bulloni che la comprimono. Si tratta quindi di un **dispositivo reversibile**.

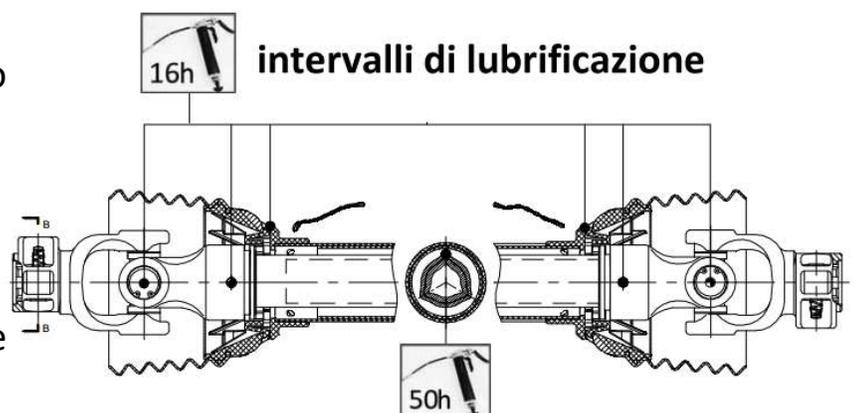
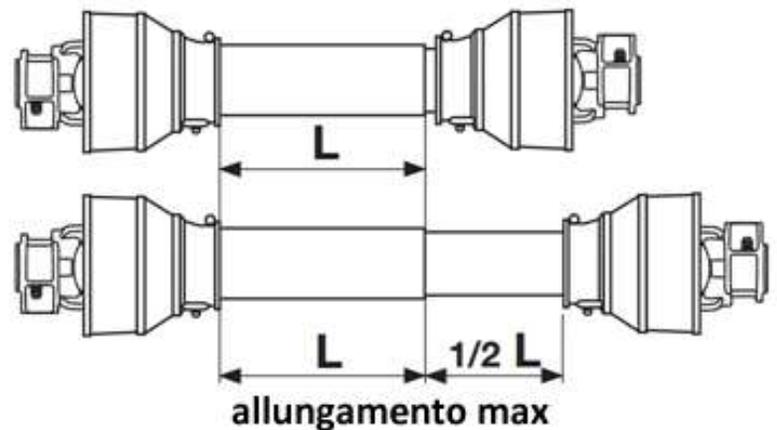
L'adozione della molla a tazza comporta il vantaggio di mantenere costante nel tempo la sua taratura (ovvero la soglia di intervento) indipendentemente dall'entità del consumo dei dischi di attrito.



Uso e manutenzione dell'albero cardanico

La lunghezza dell'albero cardanico deve rispettare le **condizioni di minimo e massimo allungamento**. Le estremità dei tubi telescopici non devono toccare le forcelle interne di ogni giunto e, all'opposto, **la sovrapposizione del tubo interno od esterno non deve mai essere inferiore ad 1/2 della loro singola lunghezza in lavoro**.

Fondamentale è la **lubrificazione**: **bisogna rispettare con scrupolosità gli intervalli di ingrassaggio delle varie parti**, riportate sia sul libretto di istruzioni che su uno specifico adesivo applicato alla protezione in plastica. Un'importante evoluzione sui modelli più recenti di alberi cardanici è stata l'introduzione di intervalli di lubrificazione (ingrassaggio) significativamente lunghi, e l'adozione di alcune parti addirittura esenti da lubrificazione.

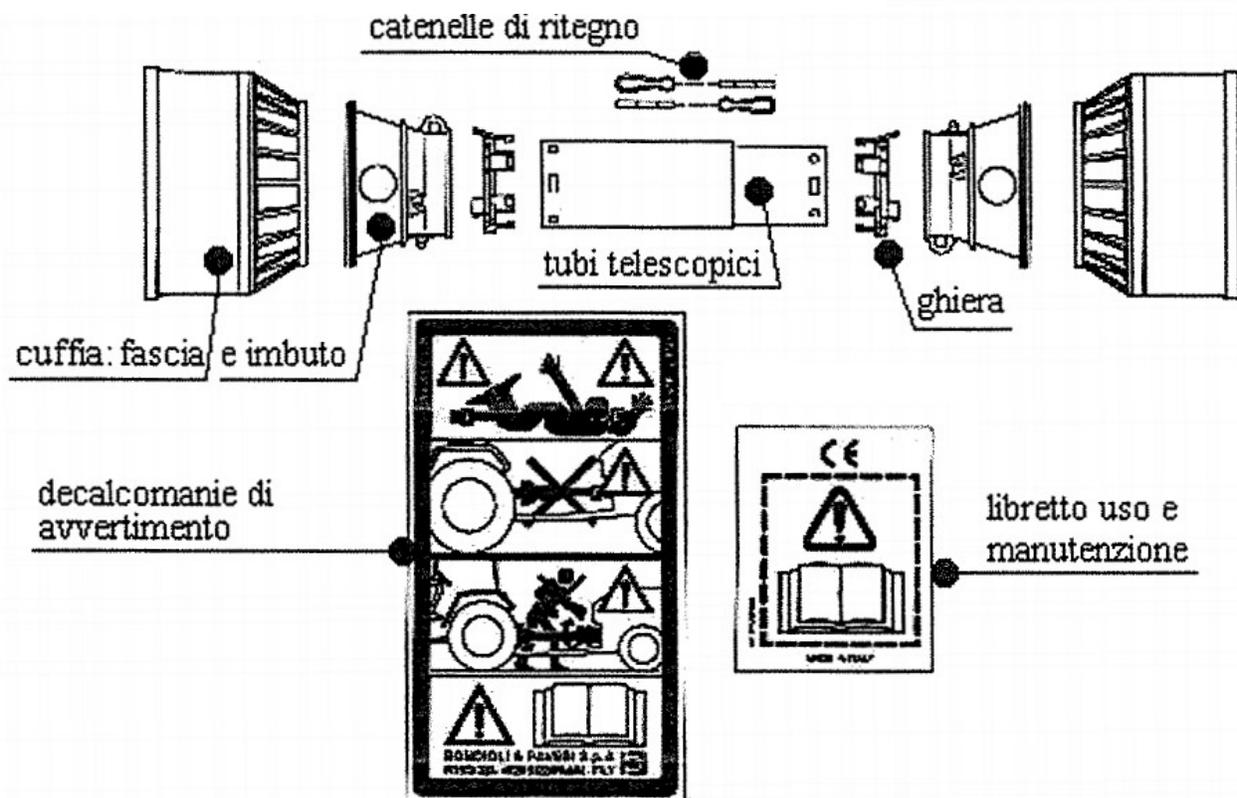
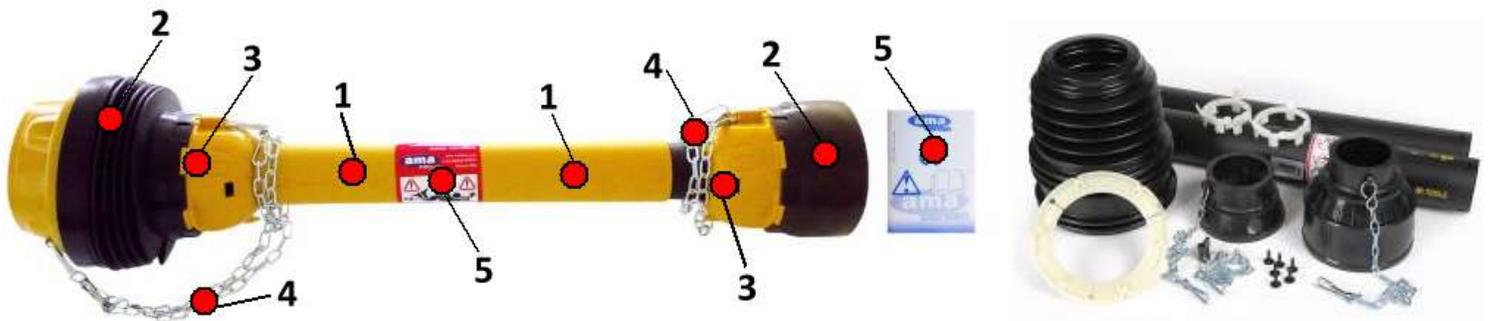


La protezione antinfortunistica

È un componente fondamentale, la cui funzione, unitamente alle protezioni fisse a cuffia delle due prese del moto, è quella di **segregare il pericolo di contatto accidentale con le parti rotanti dell'albero cardanico**.

È composta da alcune parti, nella gran parte dei casi in materiale plastico, ad alta resistenza contro i raggi UV e relativamente insensibile alle escursioni di temperatura:

1. i **tubi telescopici**;
2. le **cuffie** (composte da imbuto di base e fasce di estremità);
3. le **ghiere di collegamento** (permettono la rotazione dell'albero rispetto alla protezione);
4. le **catenelle di ritegno**, per impedire un eventuale parziale trascinamento in rotazione della protezione rispetto all'albero cardanico, in caso ad esempio di scarsa lubrificazione;
5. **etichette (o decalcomanie)** adesive di sicurezza e **libretto di istruzioni**.



Le **protezioni degli alberi cardanici** sono tra i pochissimi dispositivi in ambito agricolo (un altro esempio sono le strutture di protezione contro il ribaltamento dei trattori) **soggetti a prove di omologazione obbligatoria**, da effettuarsi necessariamente presso enti ed istituzioni appositamente accreditati allo scopo.

Sono pertanto previste allo scopo articolate **prove, di resistenza e di durata**, che vengono eseguite per verificare l'idoneità della protezione a lavorare nelle più comuni situazioni riscontrabili nell'ambito agricolo.

Verifiche e manutenzione della protezione

La protezione deve essere quella originariamente prevista dal costruttore. Qualora risulti danneggiata, occorre **sostituirla con un altro esemplare, strettamente originale**. Le cuffie di protezione delle crociere e delle forcelle, dei giunti omocinetici e delle eventuali frizioni di sovraccarico devono essere integre. Accertarsi che gli agganci di unione ai tubi telescopici della protezione siano integri ed efficienti.

Nel caso in cui il bordo della cuffia entri in contatto con qualche parte della macchina operatrice o del trattore durante il lavoro, è molto pericoloso asportare, tagliandola, parte della cuffia. Occorre, in questi casi, utilizzare un albero cardanico dotato di protezione che non interferisca con parti della macchina anche alla massima angolazione di lavoro.

**NO****OK**

I tubi telescopici di protezione dell'albero cardanico devono essere integri, privi di deformazioni, slabbrature, ammaccature, ecc. Qualora uno di questi inconvenienti venga rilevato, bisogna sostituire l'intera protezione.



Non utilizzare i tubi telescopici come punto d'appoggio per la salita o la discesa dalla macchina, sia con albero cardanico fermo, sia tanto meno quando è in movimento.

Le protezioni sono generalmente costituite da materiale plastico, soggetto come tale ad invecchiamento e degrado dovuto alle radiazioni solari.

Cambiamenti di colore

(imbrunimenti se la protezione è gialla) **o comparsa di screpolature, crepe o forature** non dovute ad interventi esterni, indicano che la protezione **ha perso le originali caratteristiche di sicurezza**; è necessario pertanto provvedere immediatamente alla sua sostituzione, con un ricambio originale.



Gli adesivi (decalcomanie) di sicurezza devono essere leggibili e interpretabili. Se danneggiate o scolorite vanno prontamente sostituite.



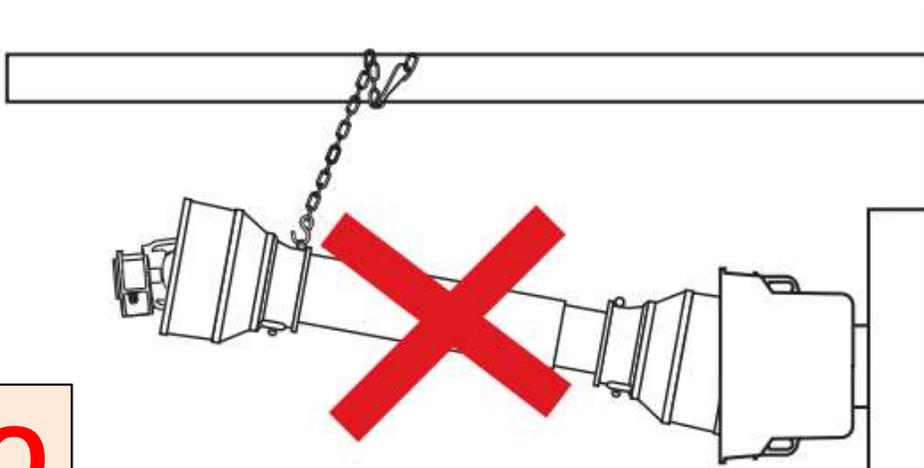
NO



OK



NO



OK

Le catenelle di ritenzione non devono essere usate per sostenere l'albero cardanico quando è a riposo, perché il suo peso danneggerebbe l'occhiello di fissaggio, ma devono essere assicurate a punti fissi della trattore, da un lato, e della macchina operatrice, dall'altro.