LA CORRETTA MESSA IN OPERA DI ALBERI CARDANICI

dott. ing. Aldo Carrieri

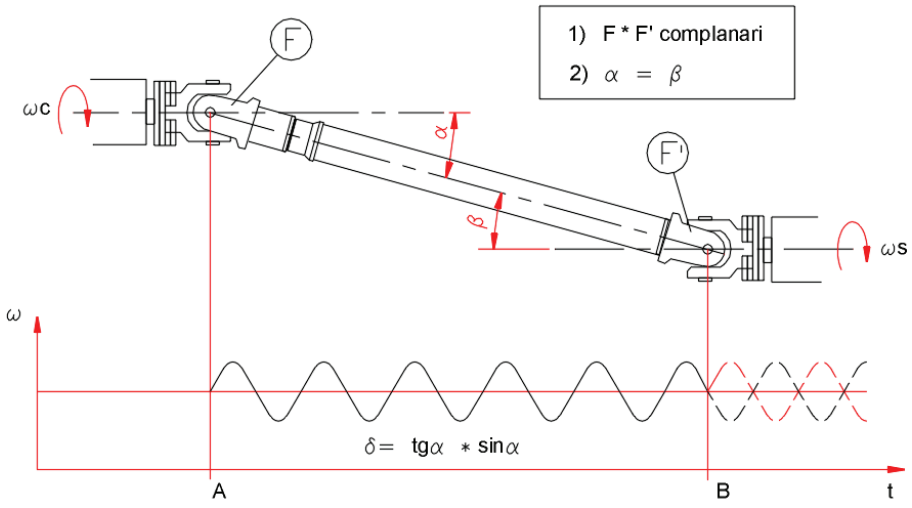
Breve introduzione concernente le regole di omocinetica relative all'albero cardanico.

Consideriamo un organo motore dotato di un moto circolare uniforme collegato ad un organo ricettore per mezzo di un albero di trasmissione e due giunti cardanici.
Si riscontra che, per principio, il primo giunto cardanico A introduce una accelerazione angolare ed una decelerazione angolare a ciascun semigiro; pertanto la parte intermedia della trasmissione compresa tra i giunti A e B è dotata di moto pulsante. Il grado di irregolarità ciclica dell' albero intermedio, dato da:

$$\delta = tg\alpha * sen\alpha$$

è tanto più elevato quanto più grande è α.
Risulta quindi che il movimento di rotazione (costante) dell'organo motore potrà essere restituito all'organo ricettore senza irregolarità solo se il secondo giunto cardanico B corregge in opposizione di fase, ad ogni istante, tutte le irregolarità cicliche introdotte da A. Questo si potrà avere solo se si verificano simultaneamente le seguenti due condizioni:

1) Le forcelle F ed F' dell'albero intermedio giacciono sullo stesso piano.

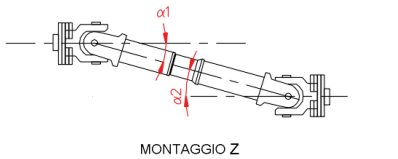


2) Gli angoli di lavoro α e β di ciascun giunto devono essere uguali.

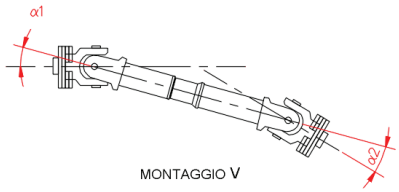
Per rispettare queste due condizioni vi sono solo due configurazioni possibili di funzionamento di una trasmissione a due giunti cardanici;

1) Il primo modo di montaggio è ad angoli alterni interni uguali - Funzionamento detto a "Z".
In tal caso le flange dell'organo motore e di quello ricettore devono essere parallele.

2) Il secondo modo di montaggio è ad angoli di lavoro concorrenti uguali - Funzionamento detto a "V".



MONTAGGIO Z



MONTAGGIO V

In questa disposizione, meno usata, i prolungamenti degli assi dell'organo motore e di quello ricettore devono intersecarsi al centro dell'albero di trasmissione.

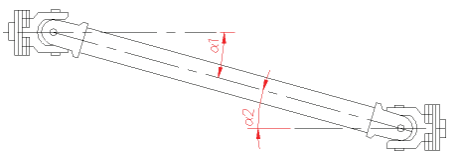
Determinazione dei valori limite dell'inclinazione dell'albero cardanico:

Come si è già visto in precedenza, il moto pulsante dell'albero intermedio è di ampiezza proporzionale all'angolo di inclinazione α e quindi anche la sua velocità massima di rotazione è direttamente influenzata dallo stesso angolo.
Nel diagramma allegato è riporata la velocità massima di rotazione in funzione dell' angolo di inclinazione per alberi di vari diametri con lunghezza libera di 1500 mm.
Il suddetto diagramma si riferisce alla rotazione di alberi montati in condizioni ottimali, e cioè con le flange dei giunti A e B perfettamente allineate per le due soluzioni di montaggio a "Z" o a "V".
Tale condizione di montaggio è difficilmente applicabile nella realtà sia per le inevitabili tolleranze di montaggio, sia perchè in alcuni casi l'inclinazione della flangia dell'organo ricettore non è costante durante il periodo di funzionamento della macchina, come accade per esempio per alcuni tipi di sospensioni posteriori di veicoli che inducono lievi rotazioni del differenziale nell'escursione tra vuoto e carico.
Anche in questo ultimo caso si può sempre far riferimento al diagramma 1 entrando però con un angolo αr, risultante tra l'angolo di inclinazione reale α dell'organo motore ed un angolo virtuale calcolato con la seguente espressione:

$$\alpha_v = \sqrt{|\alpha^2 - \beta^2|}$$

Tale valore risultante può essere ricavato dal diagramma 2.
Per esempio, nel caso di una trasmissione montata a Z con angoli alterni interni uguali si ha:

1° caso Disposizione a Z esatta



angolo di inclinazione $\alpha_1 = \alpha_2 = 12°$
angolo di errore $\Delta\alpha = 0$
angolo virtuale:

$$\alpha_v = \sqrt{|12^2 - 12^2|} = 0$$

angolo risultante $\alpha_r = 12°$

2° caso disposizione a Z con piccolo angolo di inclinazione e piccolo angolo di errore

angolo di inclinazione $\alpha_1 = 5°$; $\alpha_2 = 4°$

Dagli esempi su esposti si può notare che l'angolo virtuale da inserire nella tabella per il calcolo dell'angolo risultante è tanto più grande quanto più grande è l'angolo di inclinazione a parità di angolo di errore.

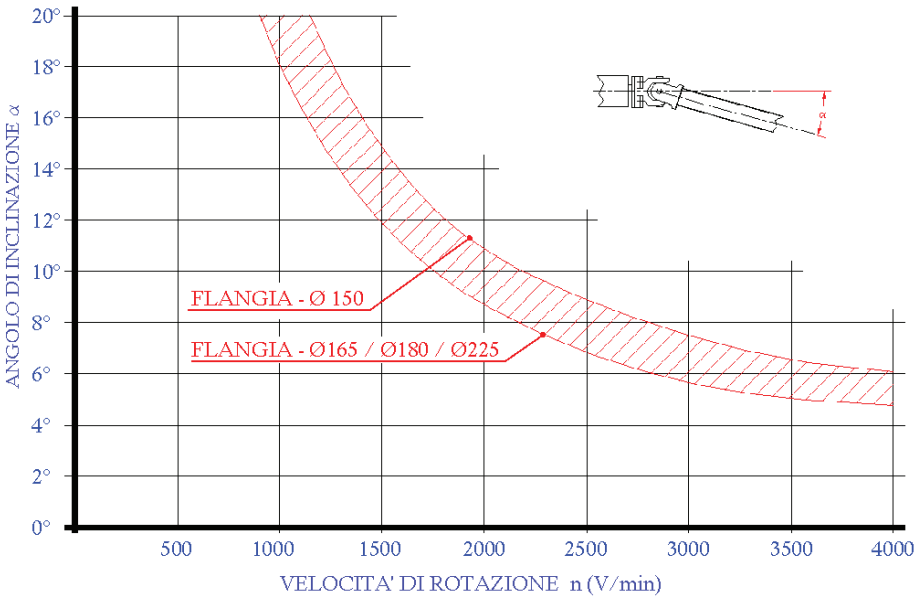
Determinazione dell'inclinazione virtuale dell'albero cardanico.

Nella prima parte è stato descritto il metodo di calcolo dell'angolo virtuale αv quando le flange dell'albero motore e di quello condotto non sono parallele; si è visto anche che tale angolo virtuale deve essere limitato il più possibile perchè contribuisce all'abbassamento del limite massimo ammissibile della velocità di rotazione.

Se il valore dell'angolo virtuale αv è inferiore a 3°, si può ritenere nullo il suo contributo alla riduzione della velocità di rotazione.

Gli esempi di calcolo riportati nella prima parte si riferiscono alla configurazione dell'albero cardanico montato con forcelle complanari, per far sì che il moto pulsante in uscita sia in opposizione di fase con quello in entrata (cfr figura 1 1ª parte). Con questa disposizione può essere imposto indifferentemente il segno positivo o negativo al valore di ogni angolo, purchè l'uno sia contrario all'altro.

Nel caso invece di montaggio con forcelle non complanari, il moto pulsante in uscita è in fase con quello in ingresso; ne consegue che ai due angoli deve essere assegnato il segno concorde e che quindi



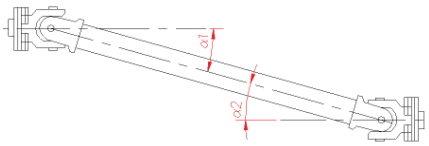
angolo di errore $\Delta\alpha = 5°-4° = 1$

angolo virtuale:

$$\alpha_v = \sqrt{|5^2-4^2|} = 3°$$

angolo risultante $\alpha_r = 5{,}7°$

3° caso disposizione a "Z" con grande angolo di inclinazione e piccolo angolo di errore.



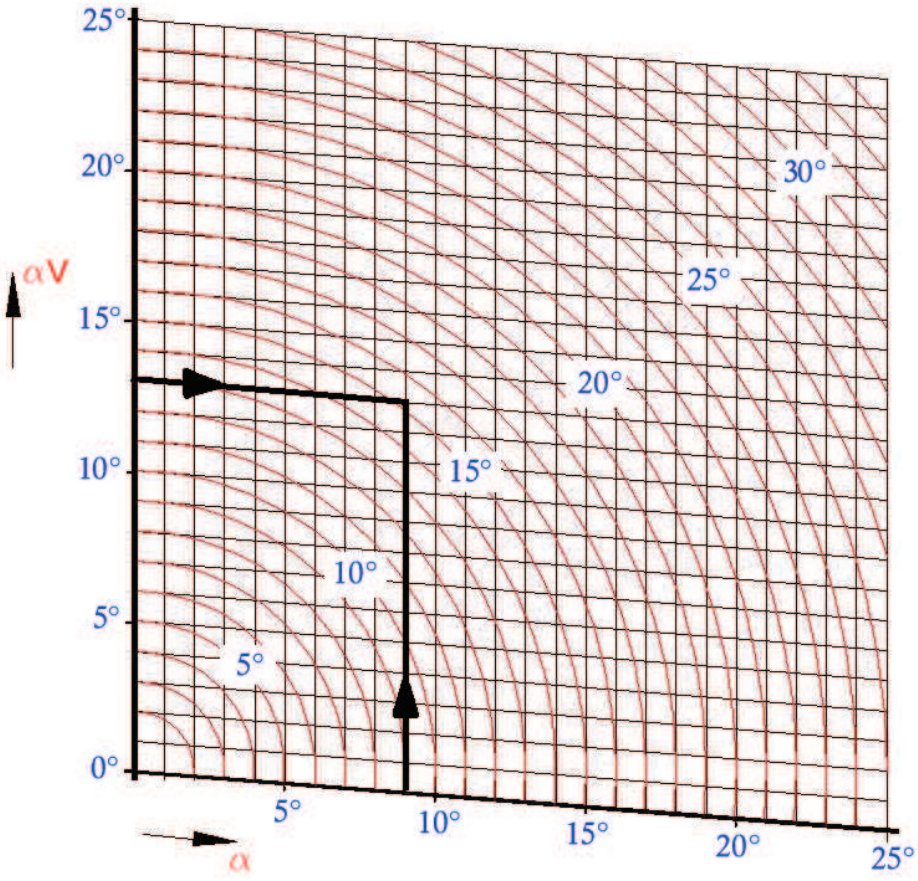
Angolo di inclinazione $\alpha_1 = 15°$; $\alpha_2 = 14°$

Angolo di errore $\Delta\alpha = 15°-14° = 1$

angolo virtuale:

$$\alpha_v = \sqrt{15^2-14^2} = 5{,}4°$$

angolo risultante $\alpha_r = 15{,}6°$



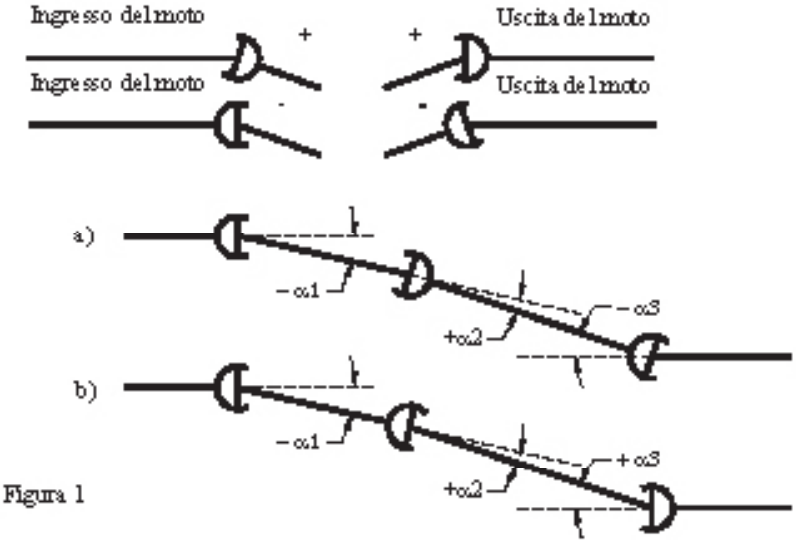
il valore finale dell'angolo virtuale αv è tanto più elevato quanto maggiore è l'inclinazione dell'albero cardanico.
Nel caso infine di una trasmissione formata da più alberi cardanici disposti in serie si può calcolare l'angolo virtuale con la seguente formula generale:

$$\alpha = \sqrt{\pm\alpha_1^2 \pm\alpha_2^2 \pm\alpha_3^2 \pm\alpha_4^2 \pm \ldots..}$$

assegnando ad ogni angolo il segno appropriato a seconda della complanarità delle forcelle di ingresso e di uscita.
Per convenzione, il segno di ogni termine viene dato con la seguente regola (vedere la figura 1 seguente):

- L'angolo di inclinazione all'ingresso del moto è negativo se la crociera è perpendicolare all'asse motore, positivo al contrario,
- L'angolo di inclinazione all'uscita del moto è positivo se la crociera è perpendicolare all'asse condotto, negativa al contrario.

Come esempio sono stati riportati nella figura 1 due casi di trasmissioni cardaniche costituite da due alberi montati tra loro con diversa inclinazione.



Nel caso a) la crociera di ingresso del moto è perpendicolare all'asse motore, quella intermedia è perpendicolare al secondo albero cardanico e quella di uscita è inclinata rispetto all'asse condotto; ne consegue che, con la regola vista in precedenza, in questo caso si deve assegnare il valore negativo ad $\alpha 1$, positivo ad $\alpha 2$ e negativo ad $\alpha 3$.
Nel caso b) la crociera di ingresso del moto è perpendicolare all'asse motore, quella intermedia è perpendicolare al primo albero cardanico e quella di uscita è perpendicolare all'asse condotto; in questo secondo caso ne consegue che, con la regola vista in precedenza, si deve assegnare il valore negativo ad $\alpha 1$, negativo ad $\alpha 2$ e positivo ad $\alpha 3$.
come esempio assegnamo agli angoli i seguenti valori:
$\alpha 1 = 9{,}5°$
$\alpha 2 = 5°$
$\alpha 3 = 11{,}5°$
Nel caso a) il valore dell'angolo virtuale diventa quindi:
$\alpha v = 13{,}6°$
Nel caso b) invece il valore dell'angolo virtuale diventa:
$\alpha v = 2{,}4°$
Dagli esempi precedenti si può quindi notare che, se quando si tratta di trasmissione con un solo albero cardanico intermedio le forcelle devono essere complanari, quando la trasmissione è formata da più alberi cardanici intermedi può risultare conveniente ruotare di 90° qualche forcella in modo da minimizzare l'angolo virtuale.
Per semplificare il calcolo dell'angolo virtuale può essere necessario ricorrere alle proiezioni dell'intera trasmissione sui due piani orizzontale e verticale, calcolando inizialmente su ognuno di essi l'angolo $\alpha 1$ (verticale) ed $\alpha 2$ (orizzontale) ed infine ricavando l'angolo αv per mezzo del diagramma 2 della 1ª parte.
In linea generale conviene utilizzare lo schema seguente per trasmissioni con 1, 2 o 3 alberi cardanici:

Alcune soluzioni di montaggio di una trasmissione cardanica.

Dalla trattazione teorica fin'ora effettuata si possono trarre le seguenti conclusioni valide in generale per il corretto montaggio di una trasmissione cardanica.
Nel caso di un solo albero cardanico intermedio, si può avere una buona omocineticità effettuando il montaggio a Z o a V, con:

- $\Delta\alpha$ non superiore ad 1°
- α non superiore a 6° - 7°
- forcelle complanari (fig. 2 a)

Nel caso di due alberi cardanici intermedi, è necessario montare le due forcelle del primo albero ortogonali tra loro e quelle del secondo albero complanari (fig. 2 b).
Nel caso, infine, di tre alberi cardanici, è necessario montare le due forcelle del primo e del secondo albero ortogonali tra loro, mentre quelle del terzo albero complanari (fig. 2 c).

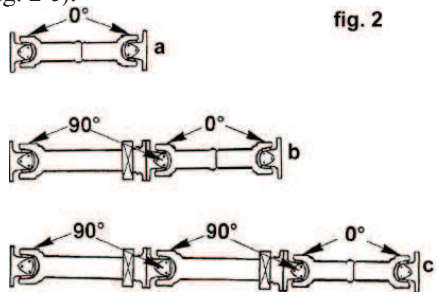


fig. 2

Alcune applicazioni sui veicoli industriali - montaggio di un rallentatore o di una presa di forza integrale.

Nel campo dell'allestimento dei veicoli industriali ricorre frequentemente il caso di modifica della trasmissione originaria dell'autotelaio sia per l'allungamento o accorciamento del passo, sia per il montaggio intermedio di un rallentatore elettrico o idraulico o di una presa di forza integrale per l'azionamento di altri dispositivi.
Di seguito analizzeremo il montaggio di un rallentatore intermedio nel caso di veicolo con passo corto e con passo lungo e per ognuno di essi due casi di trasmissione originaria dell'autotelaio.

1° caso - veicolo con passo corto:
Esaminiamo per cominciare il montaggio su veicoli la cui trasmissione congiunge direttamente l'uscita del cambio al ponte posteriore senza alberi intermedi.

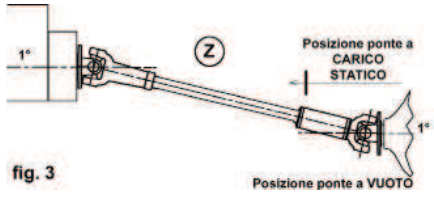


fig. 3

In questo caso, di solito, la trasmissione è già sottoposta a grandi oscillazioni nel piano verticale a causa del passo corto e

della escursione del ponte posteriore, e quindi l'inserimento di un elemento intermedio contribuisce a far aumentare ancor di più l'escursione dell'elemento finale, tanto da avere angoli di inclinazione inaccettabili.
Di conseguenza, per ridurre al minimo il dislivello tra il rallentatore ed il ponte, si usa realizzare una trasmissione iniziale a V tra il cambio ed il rallentatore ed una trazmissione a Z tra quest'ultimo ed il ponte.

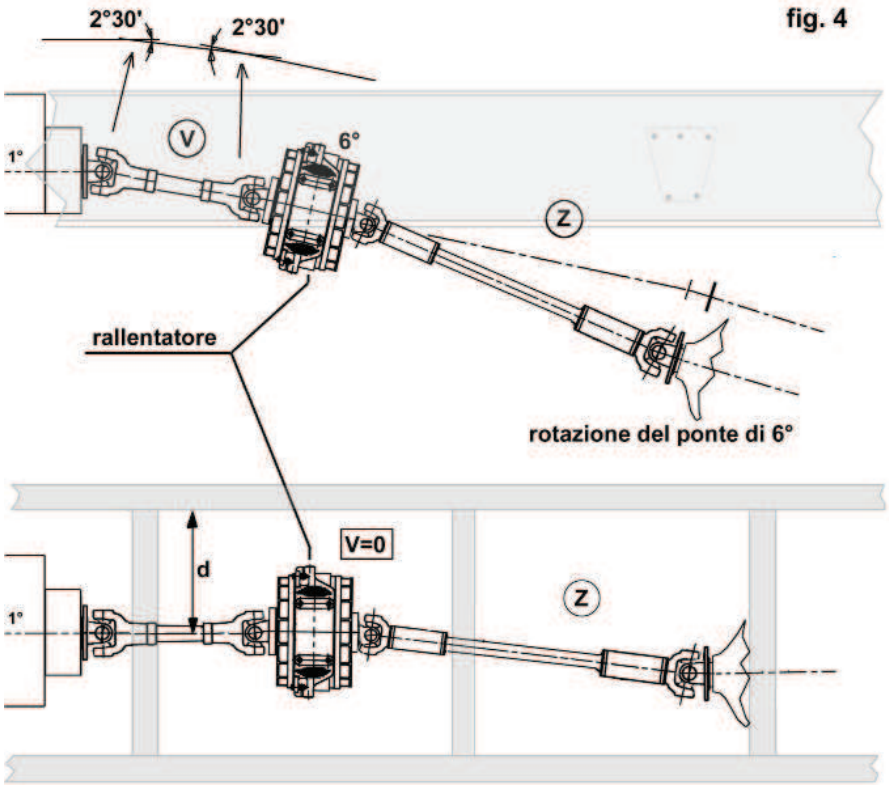


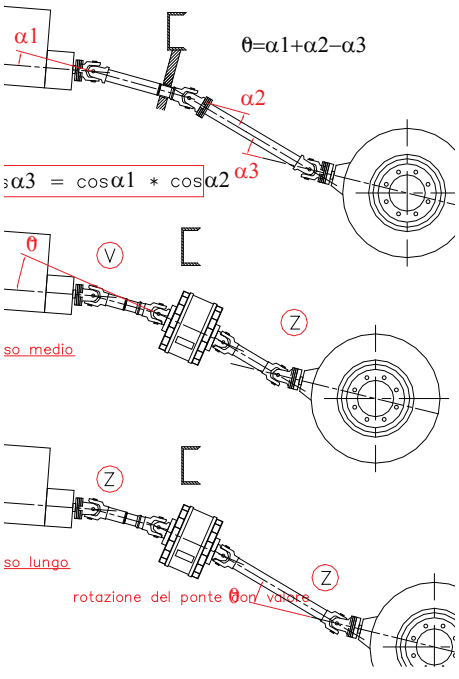
fig. 4

Per esempio, supponendo che gli assi del cambio e del ponte siano paralleli tra di loro e siano inclinati di 1° sull'orizzontale, si può montare una prima trasmissione a V con angoli di 2,5°; di conseguenza il rallentatore risulta inclinato di 1°+2,5°+2,5° = 6° e quindi, per effettuare il montaggio a Z dell'albero finale sarà necessario ruotare anche il ponte di 6° (fig. 3).

Nella vista dall'alto il rallentatore deve essere assiale con il gruppo motore-cambio.

2° caso - veicolo con passo medio:
Per i veicoli con il passo medio si possono avere due varianti:
a) un unico albero di trasmissione montato tra il cambio ed il differenziale con configurazione a "**Z**"; in tal caso è ancora possibile utilizzare il montaggio a "**Z**" per i tronconi anteriore e posteriore, nel caso di montaggio intermedio di una presa di forza integrale o di un rallentatore;
b) due alberi di trasmissione con tre angoli $\alpha1$, $\alpha2$ ed $\alpha3$ per ciscun giunto e con i giunti ruotati secondo lo schema riportato in figura 2 della seconda parte; con tale soluzione la condizione di omocineticità si ottiene quando i suddetti angoli soddisfano la relazione:

$$\cos\alpha3 = \cos\alpha1 \times \cos\alpha2$$



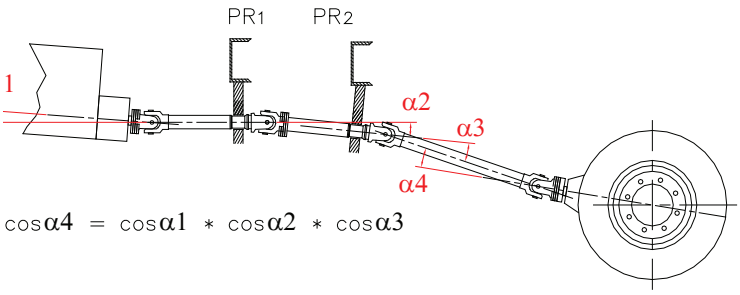
Se il differenziale oscilla tra le posizioni estreme a vuoto e a carico mantenendo il proprio asse con angolo di inclinazione fisso rispetto al piano orizzontale, la relazione precedente può essere soddisfatta solo per un determinato stato di carico.
Il montaggio di un rallentatore in tale linea d'alberi permette di eliminare il supporto del primo tronco, ma la sua presenza implica che questo si trova in una zona di funzionamento non pulsante e quindi non si può più considerare valida la correzione applicata per la irregolarità ciclica tra il cambio ed il differenziale. E' necessario che le trasmissioni montate avanti e dietro il rallentatore o la presa di forza integrale siano omocinetiche, il chè conduce a due possibili configurazioni:
- se il passo è medio, si utilizzerà la soluzione vista nella puntata precedente che consiste nell'installare il rallentatore in modo che il suo asse abbia rispetto a quello del motore un angolo
$\vartheta = \alpha1 + \alpha2 - \alpha3$
e che la trasmissione anteriore funzioni con configurazione a "**V**" con giunti complanari. In tal modo, le pendenze del rallentatore e del ponte sono uguali e la trasmissione posteriore funziona a "**Z**", anch'essa con giunti complanari.
- se il passo è abbastanza lungo da permetterlo, potrà errere utilizzata una seconda soluzione, che consiste nell'installare il rallentatore con asse parallelo a quello del motore e ruotare il ponte di un valore ϑ tale da rendere anche il suo asse parallelo a quello del motore e del rallentatore.
Con tale soluzione di montaggio gli alberi di trasmissione anteriore e posteriore avranno la configurazione a "**Z**" con i giunti complanari.

3° caso - veicolo con passo lungo:
Per i passi lunghi si deve necessariamente dividere in più tronchi l'albero di trasmissione al fine di evitare che si possa raggiungere il regime di rotazione critico già trattato nella prima parte di questo articolo. In tal caso la linea di trasmissione tra cambio e ponte comporta il montaggio di almeno due supporti intermedi.
Una linea di trasmissione formata da tre alberi cardanici permette la costruzione di tre schemi cinematici equivalenti che possono assicurare il moto omocinetico; di questi di seguito considereremo il caso più frequente che corrisponde alla disposizione riportata nella figura 2 della seconda parte.
Per ottenere il moto omocinetico è necessario che sia soddisfatta la seguente

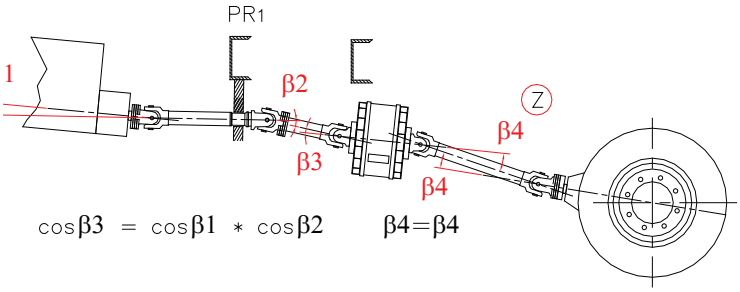
relazione:

$\cos\alpha 4 = \cos\alpha 1 \times \cos\alpha 2 \times \cos\alpha 3$

in cui $\alpha 1$, $\alpha 2$ $\alpha 3$ ed $\alpha 4$ sono rispettivamente gli angoli di inclinazione del cambio, dei due giunti intermedi e del



$\cos\alpha 4 = \cos\alpha 1 * \cos\alpha 2 * \cos\alpha 3$



$\cos\beta 3 = \cos\beta 1 * \cos\beta 2 \qquad \beta 4 = \beta 4$

ponte; come per la trasmissione a tre giunti omocinetici visti in precedenza, anche per questa si avrà la completa omocineticità per un solo stato di carico.
Il montaggio di un rallentatore consiste nel sopprimere il secondo supporto e nell'installare il rallentatore con una pendenza parallela all'asse del ponte, in modo da avere per l'ultimo albero una configurazione a "Z" con giunti complanari.
Le altezze del rallentatore e del primo supporto dovranno essere regolate in modo da soddisfare la relazione:

$\cos\beta 3 = \cos\beta 1 \times \cos\beta 2$

mentre i giunti omocinetici devono essere complanari. In tal modo la linea di trasmissione ottenuta sarà perfettamente omocinetica, per qualunque stato di carico.
In pratica gli angoli iniziali $\alpha 1$ed $\alpha 2$ sono