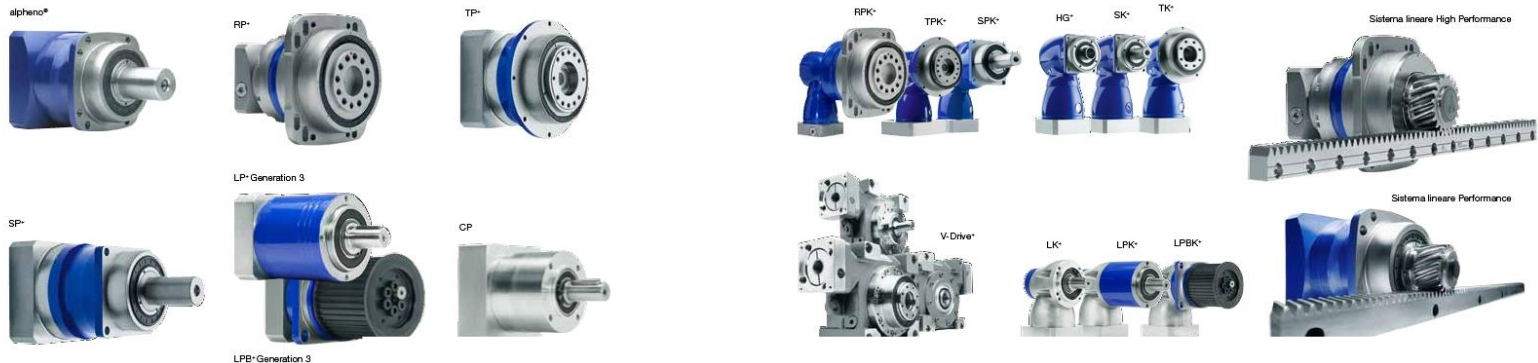
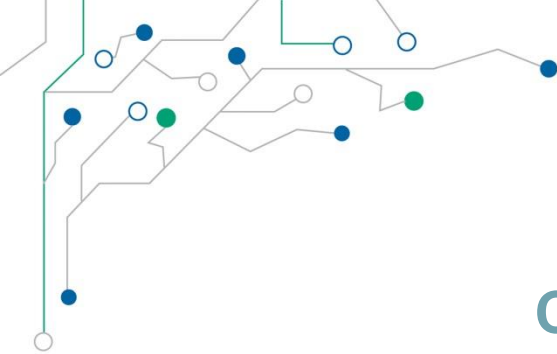


I riduttori di precisione: principi di funzionamento e criteri di scelta

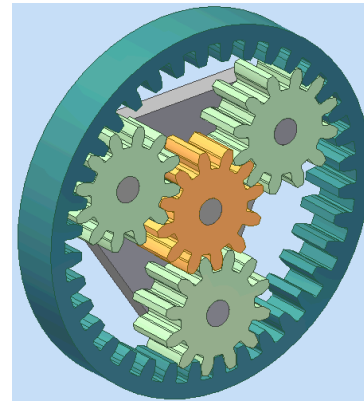
Università di Udine
Ing. Emanuele Radice
Area Manager & Engineering
emanuele.radice@wittenstein.it





Cos'è un riduttore meccanico ?

Il riduttore meccanico è essenzialmente una «scatola» che contiene ingranaggi.



A seconda della tipologia di ingranaggi che lo compongono, il riduttore viene chiamato in diversi modi.

A cosa serve un riduttore meccanico ?



**Ridurre
la velocità motore**

La velocità di rotazione ottimale di un motore è solitamente tra i 1000 e i 3000 rpm; difficilmente le macchine che compiono qualche processo vanno a questi regimi e quindi è necessario ridurre la velocità ad un valore consono con i processi di trasformazione da compiere.



**Aumentare
la coppia motore**

Grazie alle ruote dentate, il riduttore meccanico moltiplica la coppia del motore rendendo quest'ultimo in grado di movimentare applicazioni con masse ed inerzie importanti. In caso contrario si dovrebbe usare un motore di dimensioni molto più grandi con inutile spreco di energia e problemi di ingombro.

Tipologie di riduttori di precisione

In commercio esistono diverse tipologie di riduttori che sfruttano principi tecnologici differenti. Quando tuttavia si parla di riduttori di precisione, nel campo dell'automazione, l'offerta si può ridurre a:

Riduttore epicicloidale

Coppie coniche

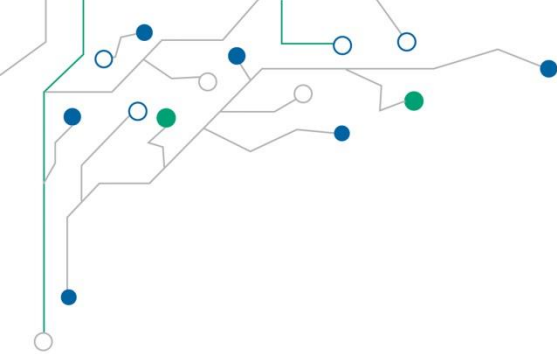
Cicloidi

Coppie ipoidali

Armonici

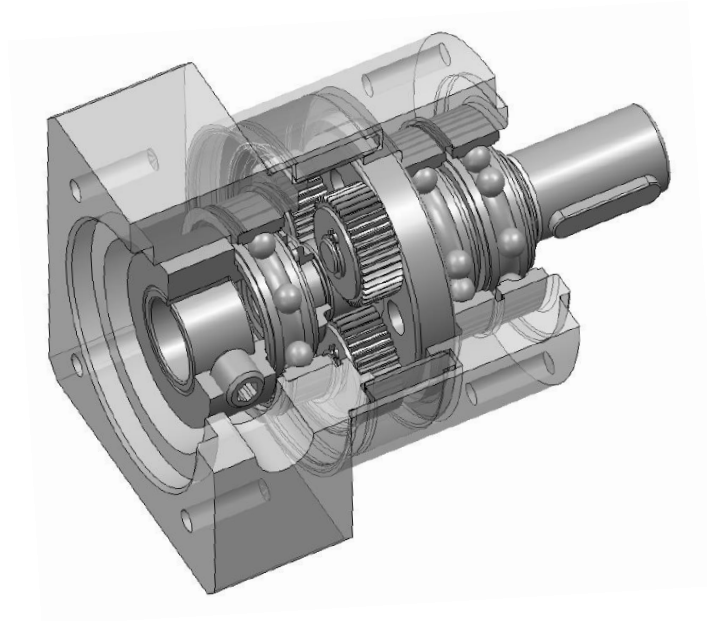
Vite senza fine



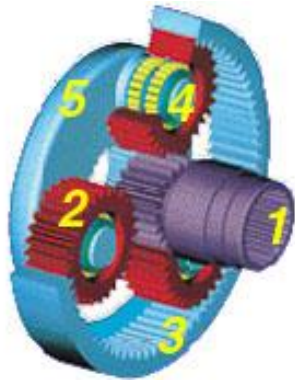


Riduttore Epicicloidale

E' la tipologia di riduttore maggiormente commercializzato in quanto offre il miglior compromesso (tecnico / economico) nella maggior parte delle applicazioni.



Riduttore epicicloidale – il principio

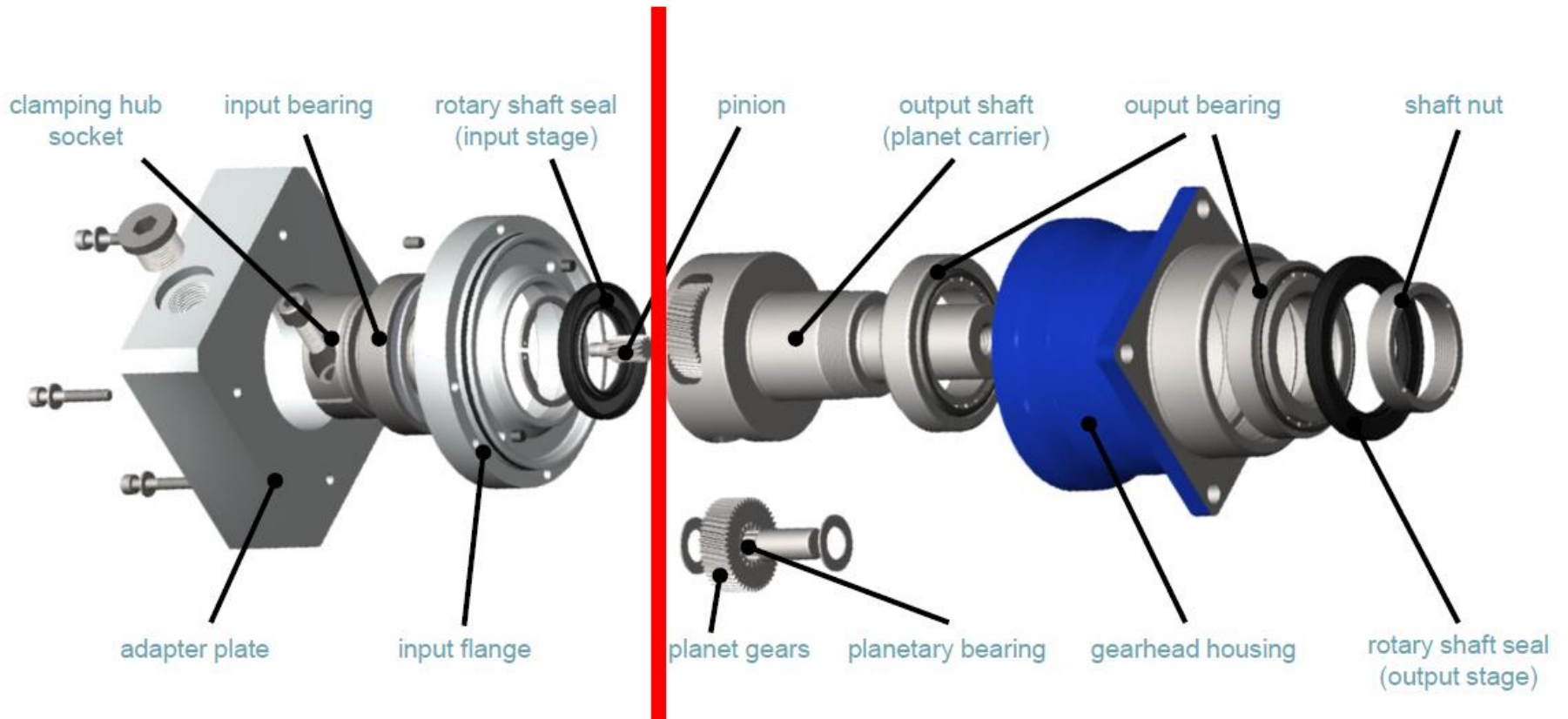


- 1) Pignone solare
- 2) Planetari
- 3) Corona
- 4) Perno planetari con cuscinetto
- 5) Porta-planetari

Gli ingranaggi epicicloidali sono costituiti da un sistema di uno o più ingranaggi chiamati **planetari**, montati su un organo porta-planetari che ruotano intorno ad un pignone centrale detto **solare**; il tutto è posto all'interno di una ruota dentata detta **corona**. L'asse di rotazione del porta-planetari e del solare coincidono. Nei riduttori viene mantenuta fissa la corona e quindi l'ingresso è l'1 mentre l'uscita è il 5.

Al fine della riduzione sarebbe sufficiente un solo planetario; se ne mettono da tre in su solo per una questione di distribuzione degli sforzi.

Riduttore epicicloidale - costituzione



Riduttore epicicloidale – elementi di valutazione

La macro caratteristica che permette di classificare i riduttori in due grosse famiglie è la tipologie di dentatura degli ingranaggi:

DENTATURA DRITTA



- + Nessuna forza di ribaltamento sui cuscinetti dei planetari
- + Possibilità di montare cuscinetti più piccoli
- + Gli allungamenti dell'albero motore dovuti alla temperatura possono essere compensati facilmente
- + Soluzione più economica
- Minor capacità di trasmissione della coppia
- Minor rigidezza
- Maggior rumorosità
- Minor uniformità di rotazione

Riduttore epicicloidale – elementi di valutazione

DENTATURA INCLINATA



- + Minor rumorosità (coi nostri riduttori la riduzione è da 6 ad 8 dB(A))
- + Maggior numero di denti in contatto
- + Maggior capacità di trasmissione della coppia
- + Maggior rigidezza
- + Miglior uniformità di rotazione
- Planetari sottoposti a forze di ribaltamento
- Necessità di cuscinetti maggiorati nei planetari
- Gli allungamento dell'albero motore devono essere compensati dal calettatore
- Maggiori frizioni

Riduttore epicicloidale – elementi di valutazione

Diverse soluzioni esistono anche per quanto riguarda la scelta dei cuscinetti per i planetari; soluzioni che si differenziano per prestazioni e tempi necessari all'assemblaggio.

CUSCINETTI A RULLI IN GABBIA

- + Facilità di montaggio
- + Risparmio di tempo e di costi
- Minor capacità di carico
- Difficoltà di lubrificazione
- Facilmente danneggiabile se sottoposto a coppia di ribaltamento



CUSCINETTI A RULLI PIENI

- + Elevata resistenza a carichi di ribaltamento
- + Elevata capacità di sopportare carichi
- Difficoltà di montaggio
- Costi elevati



Riduttore epicicloidale – elementi di valutazione

I **cuscinetti in uscita** di un riduttore hanno un duplice scopo; oltre a sopportare i carichi esterni derivanti dall'applicazione devono anche supportare i carichi intrinseci derivanti dal precarico in fase di montaggio.

Il precarico dei cuscinetti in uscita è un elemento essenziale per minimizzare le oscillazioni radiali e controbilanciare le forze radiali sull'albero in uscita.

L'assenza di questa caratteristica genera una deformazione del porta-planetari con conseguente danneggiamento dell'anello dentato. Il precarico richiede di avere dei cuscinetti in grado di supportare un carico aggiuntivo; i cuscinetti a sfere non sono adatti a questi impieghi

In applicazioni con specifiche elevate, soltanto con una coppia di **cuscinetti a rulli conici** è possibile avere un precarico sufficiente per stabilizzare il porta-planetari con il ribaltamento.

Riduttore epicicloidale – elementi di valutazione

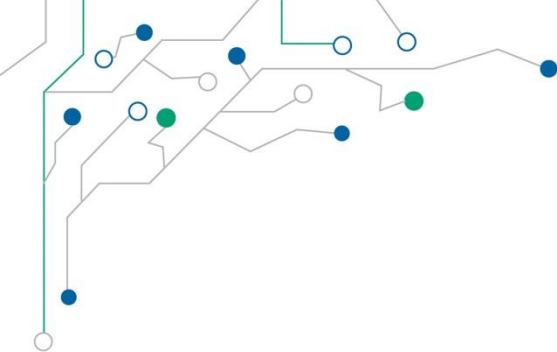


Il materiale della carcassa viene realizzato principalmente in tre modi:

- **Acciaio inossidabile**
- **Acciaio stampato**
- **Ghisa**

L'acciaio inossidabile è molto tenero e può essere indurito solo attraverso una nitrurazione; le superfici nitrurate sono tuttavia difficilmente lubrificabili.

La ghisa ha caratteristiche meccaniche e resistenza ai picchi di coppia inferiori rispetto all'acciaio stampato



Riduttore Armonico



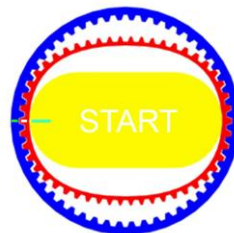
Riduttore armonico – il principio

È composto di tre elementi: una corona dentata internamente (Circular spline) che solitamente è fissa a telaio; una corona d'acciaio flessibile (elemento al centro detto anche flexspline); ed un generatore d'onda (elemento a sinistra)

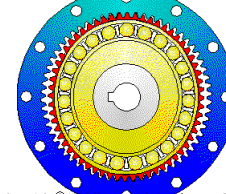


Il flexspline è di diametro leggermente inferiore alla corona rigida ed ha solitamente due denti in meno sulla circonferenza esterna. Essendo elastico può deformarsi. E' tenuto in forma ellittica dal generatore d'onda e i suoi denti ingranano sui denti della corona rigida lungo l'asse maggiore dell'ellisse.

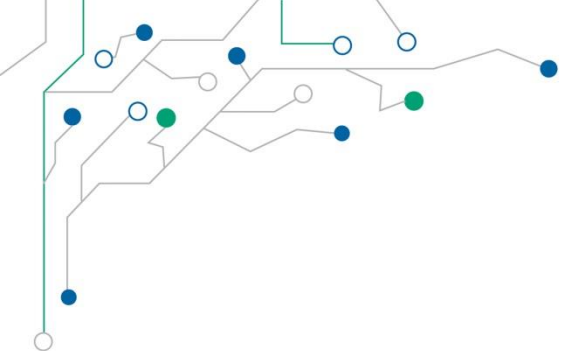
Ogni giro completo del generatore d'onda, il flexspline rimane indietro di due denti rispetto al Circular Spline.



Harmonic Drive™



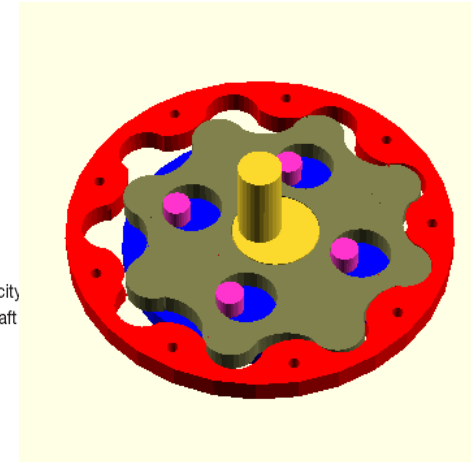
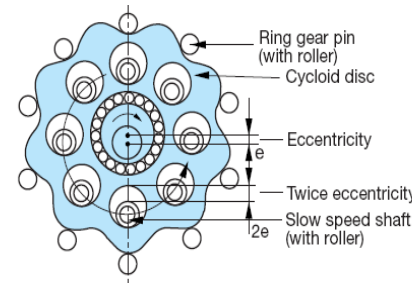
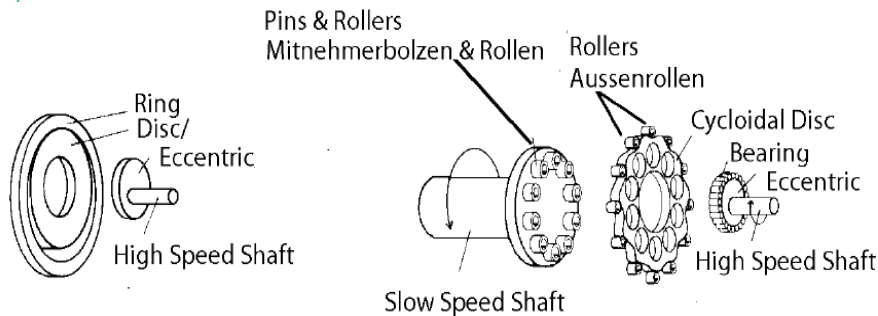
Copyright © 1997 Harmonic Drive Systems, Inc.



Riduttore Cicloide



Riduttore cicloide



Il riduttore cicloideale è costituito da due parti:

- L'assieme di un disco planetario e di un ingranaggio solare fisso. Il primo ha dei denti con forma cicloideale mentre il secondo a forma di perno
- Un eccentrico

Quando l'eccentrico gira, mette in moto il disco cicloide rispetto alla dentatura interna della carcassa. I denti del disco cicloide ingranano con i perni dell'ingranaggio fisso.

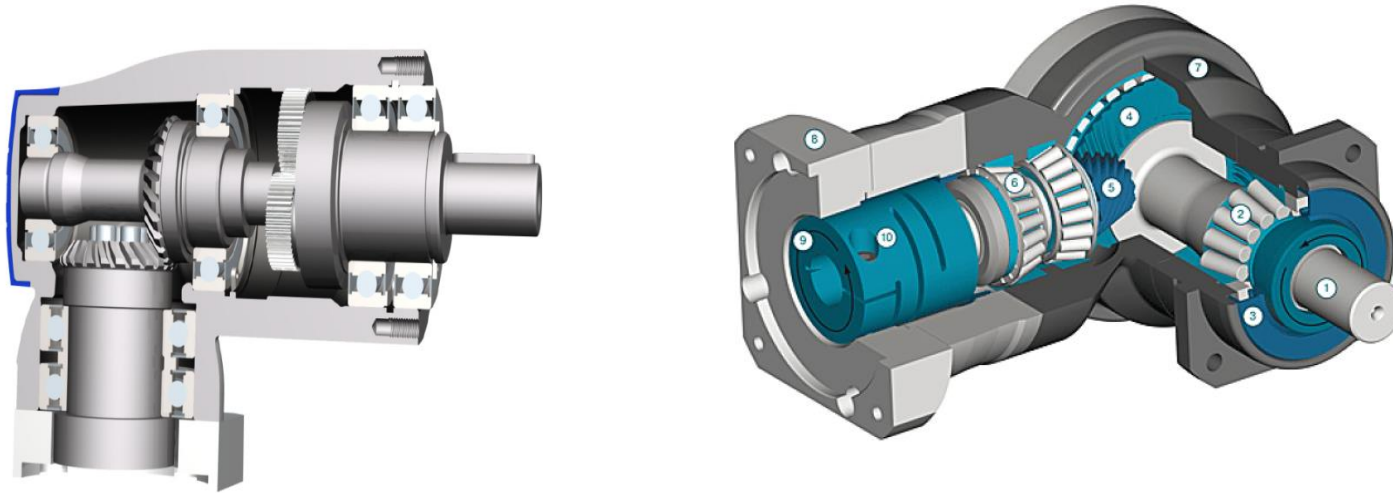
Il planetario ruotando mette in moto attraverso i suoi fori i perni dell'albero lento che ruotano in essi (Il diametro dei fori meno il diametro dei perni dell'albero lento è pari a due volte l'eccentricità dell'albero)

La riduzione si ottiene dotando il planetario di almeno un dente in meno rispetto al numero dei perni sul solare.

Comparazione tra i principi coassiali

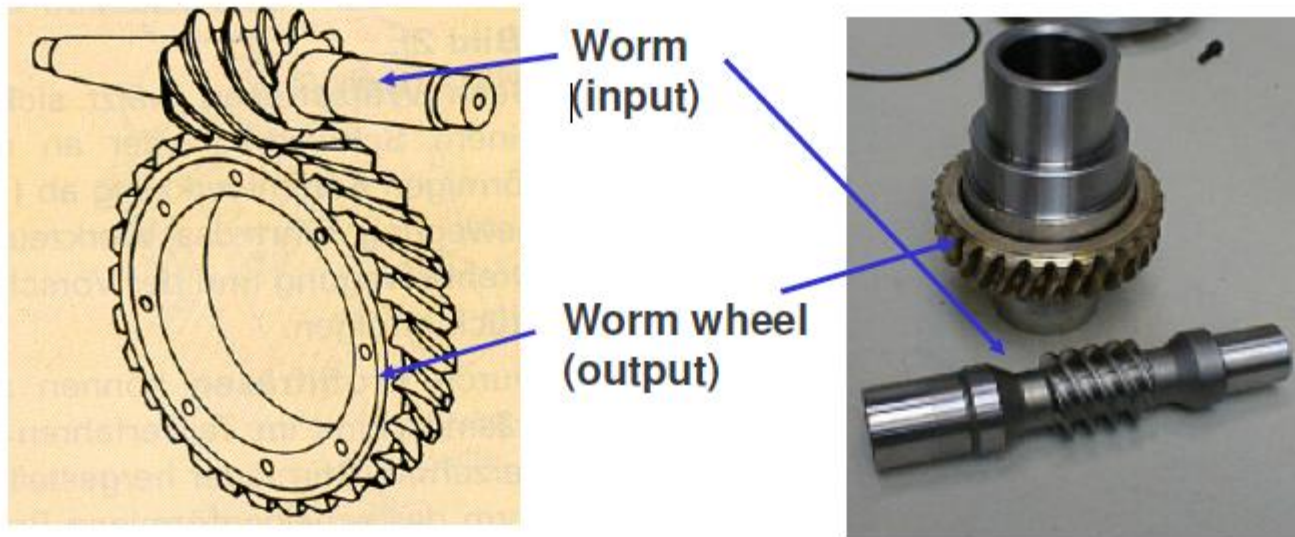
Elemento	Armonico	Cicloide	Epicicloidale	Considerazioni
Compattezza	+	+	-	Il riduttore armonico e il cicloide sono più compatti rispetto agli epicicloidali
Gioco	+	+	-	Gioco zero (attenzione a perdita di posizione per rigidità in 0)
Alta riduzione in 1 stadio	+	+	-	Rapporti elevati in un solo stadio
Ampiezza dei rapporti	-	-	+	L'armonico non ha rapporti inferiori al 30; il cicloide non ne ha inferiori a 59 (nella versione «fine»)
Efficienza	-	-	+	Armonico ha un'efficienza <80% Cicloide ha un'efficienza <65%
Inerzia propria	-	-	+	Il riduttore armonico e il cicloide hanno un'inerzia propria molto elevata.
Vita	-	-	+	Il riduttore armonico e il cicloide hanno una vita inferiore;
Comportamento dinamico	-	-	+	Il riduttore armonico e il cicloide generano delle vibrazioni che a basse velocità genera forti risonanze. Maggiori variazioni del sincronismo di rotazione
Rigidezza	-	-	+	L'epicicloidale ha una rigidità torsionale maggiore

Riduttori angolari: coppia conica, coppia ipoidale, vite senza fine



Vite senza fine

Il vite senza fine è un particolare riduttore angolare che può raggiungere elevatissimi rapporti di riduzione in un solo stadio. Poiché inoltre è composto essenzialmente da due parti è una **soluzione molto robusta**.



Il gioco

Il gioco angolare è la caratteristica tecnica che ha maggiormente influenzato il mercato dei riduttori. Influisce non solo sulla precisione e sul comportamento dinamico dell'asse ma anche sulla rumorosità, sulla durata e soprattutto sul costo del riduttore.

Misurazione:

Ecco come viene misurato, tenendo conto che **non c'è univocità** di metodo tra i diversi costruttori:

