


 Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15 Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine	
Argomento TRASMISSIONE DEL MOTO	
Indice <ul style="list-style-type: none"> <li>- Classificazione</li> <li>- Tipi di trasmissione</li> <li>- Principi teorici</li> <li>- Rapporto di velocità</li> <li>- Rendimento</li> <li>- Pregi e limiti</li> <li>- Applicazioni</li> </ul>	Classificazione  In base al tipo di Moto: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Continuo o alternato</li> <li>- Rettilineo o rotatorio</li> </ul> In base alla tipologia di trasmissione <ul style="list-style-type: none"> <li>- rotatorio → rotatorio</li> <li>- rotatorio → rettilineo</li> <li>- rettilineo → rotatorio</li> <li>- rettilineo → rettilineo</li> </ul>
Trasmissione del moto	
1	

 Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15 Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine		
	continuo	alternato
da	rotatorio	Ruote di frizione
a		Ruote dentate
	rotatorio	Rotismi epicicloidali
		Harmonic drive
		Cinghie (trapezoidali, dentate)
da	rotatorio	Pignone - cremagliera
a	rettilineo	
		Manovellismo di spinta (centrato o deviato)
		Camme a disco e punteria
da	rotatorio	Cremagliera - pignone
a	rettilineo	
		Manovella -Pattino
		Meccanismo di Scotch
da	Rettilineo	Leva ?
a	Rettilineo	
		Camma traslante – cedente punteria
Trasmissione del moto		Classificazione
		2

 Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15 Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine						
Caratteristiche di funzionamento	Ruote di frizione	Ruote dentate cilindriche	Cinghie piane	Cinghie trapezoidali	Cinghie dentate	Catene
Potenze massime (kW) (con più ruote in parallelo)	80	80.000	200	350	120	400
Momenti massimi (kN m)	5	7.000	3	5	1	40
Velocità periferiche massime (m/s)	20 (30)	20 (30)	3–50 (150)	2–30 (40)	0,5–60 (100)	10 (30)
Rendimento (per meccanismi semplici)	0,95–0,98	0,96–0,98	0,96–0,98	0,96–0,98	0,95–0,97	0,94–0,96
Dipendenza della potenza trasmessa dalla velocità	si	no	si	si	si	si
Rapporti di trasmissione massimi (con meccanismi semplici)	6 (18)	6 (10)	6 (8)	6 (10)	6 (10)	6 (10)
Necessità di un dispositivo di messa in tensione	si	no	si	si	no	no
Carico sui cuscinetti	elevato	modesto	elevato	elevato	modesto	modesto
Necessità di parallelismo fra gli alberi	media	molto elevata	modesta	modesta	modesta	media
Necessità di avere interassi precisi	media	molto elevata	modesta	modesta	modesta	media

Trasmissione del moto Confronto trasmissioni meccaniche 3

 Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15 Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine						
Caratteristiche di funzionamento	Ruote di frizione	Ruote dentate cilindriche	Cinghie piane	Cinghie trapezoidali	Cinghie dentate	Catene
Presenza di slittamenti	si	no	si	si	no	no
Costanza del rapporto di trasmissione	modesta	eccellente	modesta	modesta	buona	modesta
Capacità di smorzare le vibrazioni	media (o scarsa)	nessuna	buona	buona	buona	scarsa
Capacità di fungere da limitatore di sovraccarico	si	no	si	si	no	no
Opportunità di porre il freno sull'albero veloce	no	si	no	no	si	si
Rumorosità della trasmissione	modesta	media	modesta	modesta	modesta	elevata
Necessità di lubrificazione	solo in taluni casi	si	no	no	no	si
Necessità di un serbatoio di raccolta del lubrificante	solo in taluni casi	si	no	no	no	si

Trasmissione del moto Confronto trasmissioni meccaniche



Caratteristiche di funzionamento	Ruote di frizione	Ruote dentate cilindriche	Cinghie piane	Cinghie trapezoidali	Cinghie dentate	Catene
Sensibilità igroscopica	modesta	no	si	si	si	no
Campo di temperatura ammissibile (°C)	-20 + 60	-10 + 60 funzione del sist. di lubr.	-20 + 60	-20 + 70 + (120)	-35 + 70 (-50 + 125)	-10 + 60 funzione del sist. di lubr.
Capacità di funzionare in presenza di sporcizia o polvere	buona	in genere assente	media	media	buona	modesta
Ingombro della trasmissione	modesto	modesto	elevato	elevato	medio	medio
Costo di fabbricazione e di installazione	modesto	elevato	modesto	medio	medio	medio
Costo di manutenzione ordinaria e di ricambi	modesto	elevato	modesto	modesto	medio	medio
Vita (durata media)	media	elevata	modesta	modesta	modesta	buona

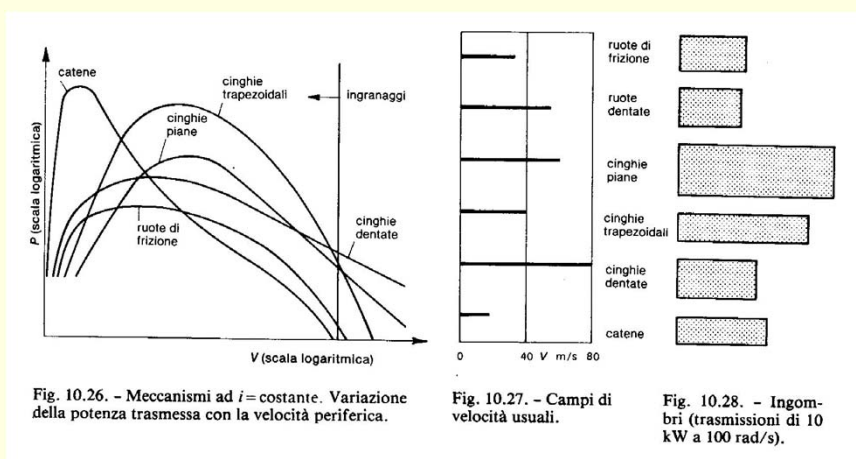


Fig. 10.26. - Meccanismi ad  $i = \text{costante}$ . Variazione della potenza trasmessa con la velocità periferica.

Fig. 10.27. - Campi di velocità usuali.

Fig. 10.28. - Ingombri (trasmissioni di 10 kW a 100 rad/s).



Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

Rapporto di velocità =  $\tau = \frac{\text{Velocità del cedente}}{\text{Velocità del movente}}$

Moto da ROTATORIO a ROTATORIO  $\tau = \frac{\text{rad/s}}{\text{rad/s}} = \frac{\text{rad}}{\text{rad}}$

Moto da ROTATORIO a RETTILINEO  $\tau = \frac{\text{m/s}}{\text{rad/s}} = \frac{\text{m}}{\text{rad}}$

Moto da RETTILINEO a ROTATORIO  $\tau = \frac{\text{rad/s}}{\text{m/s}} = \frac{\text{rad}}{\text{m}}$

Moto da RETTILINEO a RETTILINEO  $\tau = \frac{\text{m/s}}{\text{m/s}} = \frac{\text{m}}{\text{m}}$

Trasmissione del moto

Rapporto di velocità

7

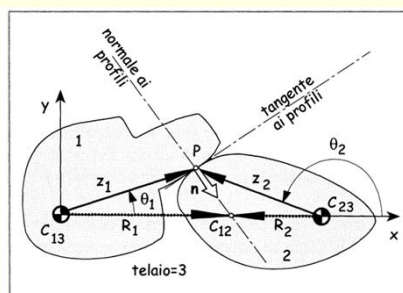
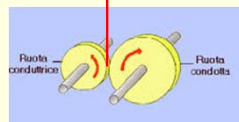


Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

### Principi teorici

Velocità periferica:

$$v = \omega R$$



$$\omega_1 R_1 = \omega_2 R_2 \longrightarrow \tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \pm \frac{R_1}{R_2}$$

Rapporto di velocità costante = **RAPPORTO DI TRASMISSIONE**

Trasmissione del moto

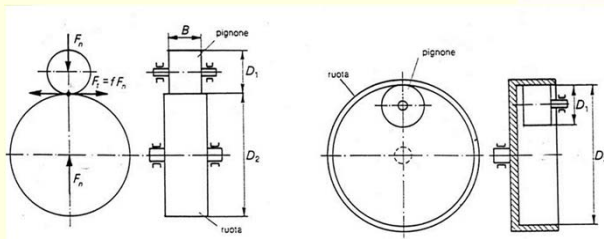
Rapporto di velocità

8



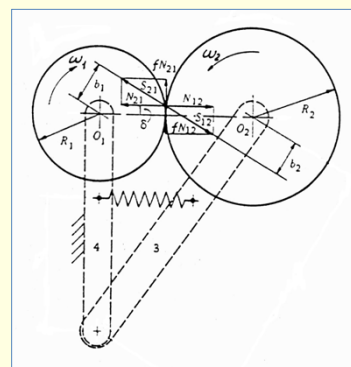
## RUOTE DI FRIZIONE

$$\tau = \frac{\omega_{ced}}{\omega_{mov}} = \pm \frac{R_{mov}}{R_{ced}}$$



## RUOTE DI FRIZIONE

Pregi	Limiti
Semplicità di costruzione	Necessità di contatto forzato
	Bassa coppia trasmissibile
	Rapporto di trasmissione non rigorosamente costante

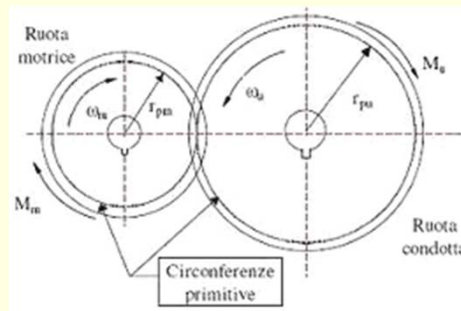




## RUOTE DENTATE

Rapporto di trasmissione

$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \pm \frac{R_1}{R_2}$$



Pregi	Limiti
Costanza del rapporto di trasmissione	Complessità di costruzione
Elevata coppia e potenza trasmissibile	

Trasmissione del moto

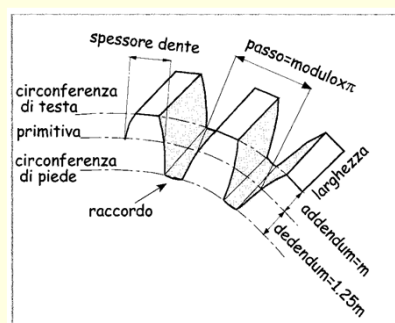
Ruote dentate

11



Passo  $p = \frac{\pi D}{z}$

Modulo  $m = \frac{D}{z}$



$$\rho_1 = \frac{\pi 2 R_1}{z_1} \quad \longrightarrow \quad \rho_1 = \rho_2 \quad \longrightarrow \quad \tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \pm \frac{R_1}{R_2} = \pm \frac{z_1}{z_2}$$

$$\rho_2 = \frac{\pi 2 R_2}{z_2}$$

Trasmissione del moto

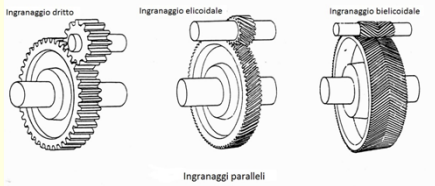
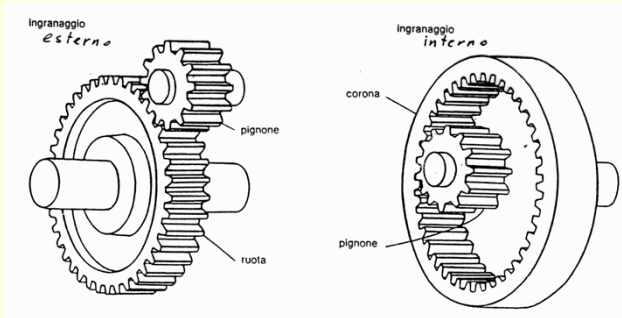
Ruote dentate

12



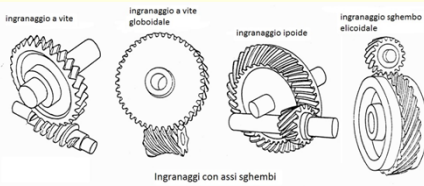
Ruote dentate con dentatura interna o esterna

$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \pm \frac{R_1}{R_2} = \pm \frac{z_1}{z_2}$$



$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \pm \frac{R_1}{R_2} = \pm \frac{z_1}{z_2}$$

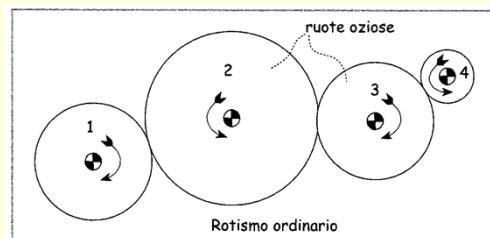
$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{z_1}{z_2}$$



$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{i_1}{z_2}$$



Rotismi ordinari → Gli assi delle ruote dentate sono fissi

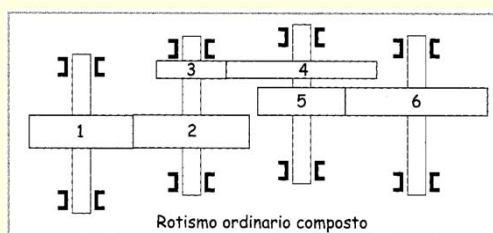


Rapporto di trasmissione

$$\tau = \frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{\omega_4}{\omega_3} \cdot \frac{\omega_3}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} = \left(-\frac{R_3}{R_4}\right) \cdot \left(-\frac{R_2}{R_3}\right) \cdot \left(-\frac{R_1}{R_2}\right) = -\frac{R_1}{R_4} = -\frac{z_1}{z_4}$$



### ROTISMI ORDINARI



Rapporto di trasmissione

$$\begin{aligned} \tau = \frac{\omega_6}{\omega_1} &= \frac{\omega_6}{\omega_5} \cdot \frac{\omega_5}{\omega_4} \cdot \frac{\omega_4}{\omega_3} \cdot \frac{\omega_3}{\omega_2} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1} = \\ &= \left(-\frac{R_5}{R_6}\right) \cdot 1 \cdot \left(-\frac{R_3}{R_4}\right) \cdot 1 \cdot \left(-\frac{R_1}{R_2}\right) = -\frac{R_5 \cdot R_3 \cdot R_1}{R_6 \cdot R_4 \cdot R_2} \end{aligned}$$



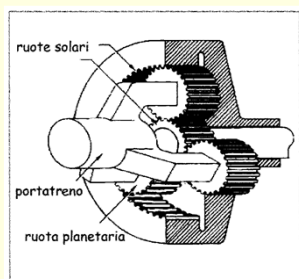


Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

Rotismi **EPICICLOIDALI** → Almeno un **asse** di una ruota dentata è **mobile**

Vantaggi:

- Coassialità tra movente e cedente
- Limitato ingombro
- Rapporti di trasmissione maggiori di un rotismo ordinario



Trasmissione del moto

Ruote dentate

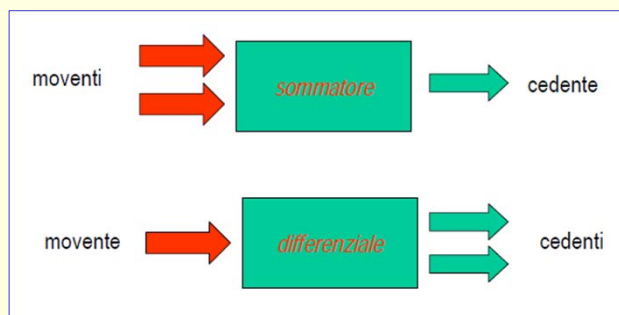
17



Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

Rotismi **EPICICLOIDALI**

Meccanismo con **2 gradi di libertà**



Per renderlo ad un grado di libertà è necessario bloccare una ruota dentata solare

Trasmissione del moto

Ruote dentate

18



Rapporto di trasmissione

$$\tau = \frac{\omega_{PT}}{\omega_1}$$

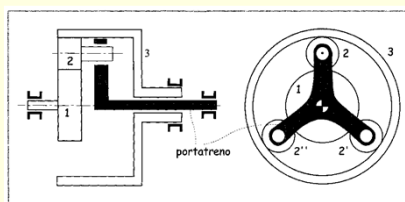
Rotismi EPICICLOIDALI

Formula di Willis  $\tau_0 = \frac{\omega_{30}}{\omega_{10}} = \frac{\omega_3 - \omega_{PT}}{\omega_1 - \omega_{PT}}$

$$\tau_0 = \frac{\omega_{30}}{\omega_{10}} = \frac{\omega_{30}}{\omega_{20}} \cdot \frac{\omega_{20}}{\omega_{10}} = \left( \frac{R_2}{R_3} \right) \cdot \left( -\frac{R_1}{R_2} \right) = -\frac{R_1}{R_3}$$

$$\tau_0 = \frac{0 - \omega_{PT}}{\omega_1 - \omega_{PT}}$$

$$\tau = \frac{\omega_{PT}}{\omega_1} = \frac{\tau_0}{\tau_0 - 1}$$



Trasmissione del moto

Ruote dentate

19



Rotismi EPICICLOIDALI

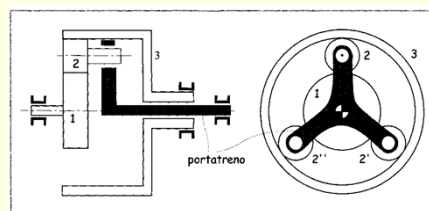
Condizioni geometriche:

stesso passo (=stesso modulo) per le ruote dentate

$$R_3 = R_1 + 2 \cdot R_2$$

$$\frac{m \cdot z_3}{2} = \frac{m \cdot z_1}{2} + 2 \cdot \frac{m \cdot z_2}{2}$$

$$z_3 = z_1 + 2 \cdot z_2$$



Trasmissione del moto

Ruote dentate

20



Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

### Applicazione: **RIDUTTORI**

#### Vantaggi

- elevati rapporti di riduzione
- elevate coppie da trasmettere
- elevati carichi da sopportare sull'albero in uscita



Trasmissione del moto

Ruote dentate

21



Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

### Applicazione: differenziale per **MACCHINE UTENSILI**

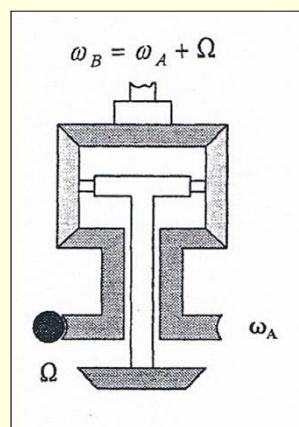
Necessità di disporre di una velocità angolare ottenuta come somma (o differenza) di due altre velocità angolari indipendenti.

Rotismo differenziale applicato ad una dentatrice a creatore.

Il portatreno riceve, da una catena cinematica non rappresentata, una rotazione ( $\Omega$ ) funzione del numero di denti  $Z$  della ruota da intagliare.

La ruota A riceve una seconda rotazione, molto più piccola,  $\omega_A$ , funzione a sua volta dell'angolo di inclinazione dell'elica del dente della ruota da intagliare, e della velocità di avanzamento del creatore.

La ruota B ruoterà con velocità  $\omega_B = \omega_A + \Omega$



Trasmissione del moto

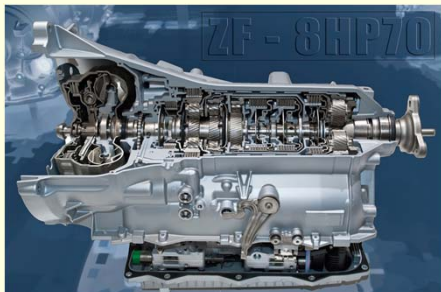
Ruote dentate

22



Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

### Applicazione: **CAMBIO AUTOMATICO**



Trasmissione del moto

Ruote dentate

23

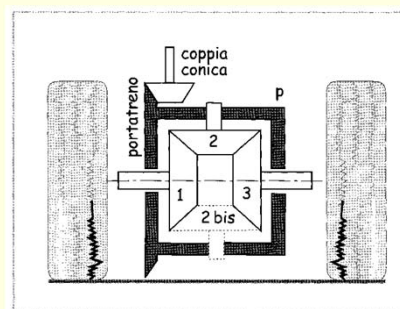


Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

### Applicazione: **DIFFERENZIALE AUTOMOBILISTICO**

**Ingresso:** albero motore (portatreno)

**Uscita:** ruote del veicolo (ruote solari)



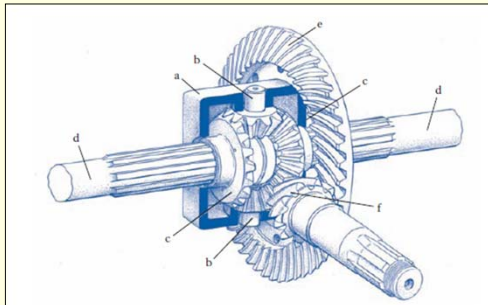
Trasmissione del moto

Ruote dentate

24



## DIFFERENZIALE AUTOMOBILISTICO



Trasmissione del moto

Ruote dentate

25

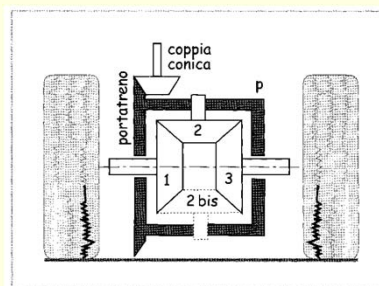


## DIFFERENZIALE AUTOMOBILISTICO

Rapporto di trasmissione

$$\tau_0 = \frac{\omega_{30}}{\omega_{10}} = \frac{\omega_3 - \omega_{PT}}{\omega_1 - \omega_{PT}} = -1$$

$$\omega_{PT} = \frac{\omega_1 + \omega_3}{2}$$



Trasmissione del moto

Ruote dentate

26



## DIFFERENZIALE AUTOMOBILISTICO

Moto in rettilineo

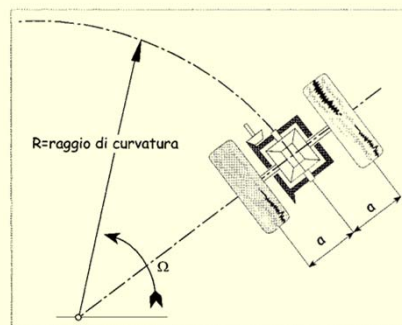
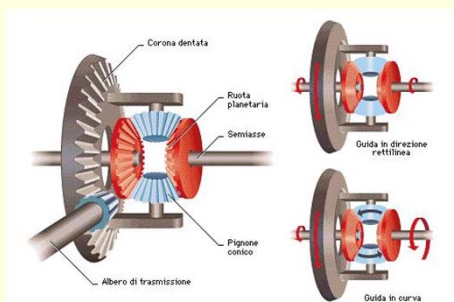
$$\omega_1 = \omega_3$$

$$\omega_{PT} = \omega_1 = \omega_3$$

Moto in curva

$$\omega_1 < \omega_3$$

$$\omega_{PT} = \frac{\omega_1 + \omega_3}{2}$$



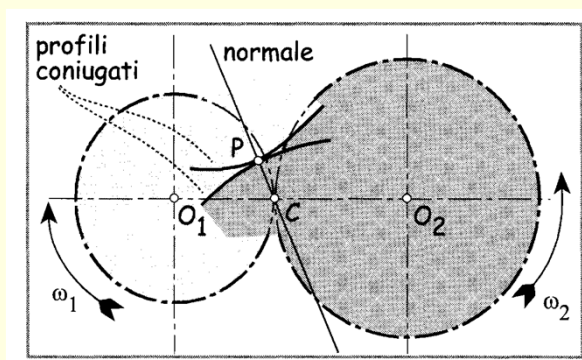
Trasmissione del moto

Ruote dentate

27



## PROFILI CONIUGATI Evolvente di cerchio



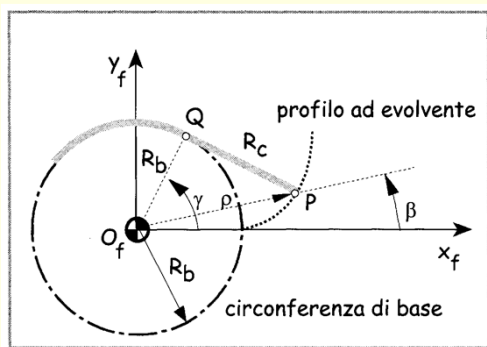
Trasmissione del moto

Ruote dentate

28



**Generazione dell'EVOLVENTE**



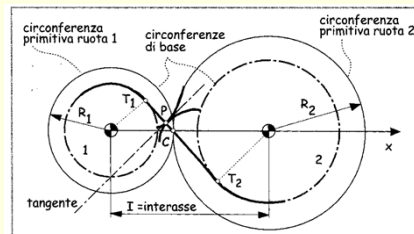
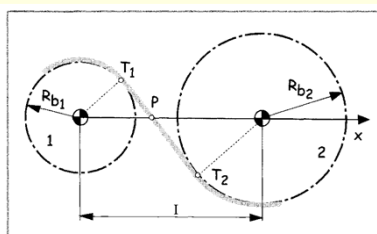
$$\rho = R_b \sqrt{\gamma^2 + 1}$$

$$\beta = \gamma - \arctg \gamma$$

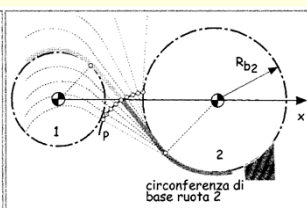
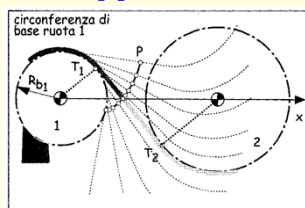
$$\overline{QP} = R_c = R_b \cdot \gamma$$



**Generazione dell'EVOLVENTE**



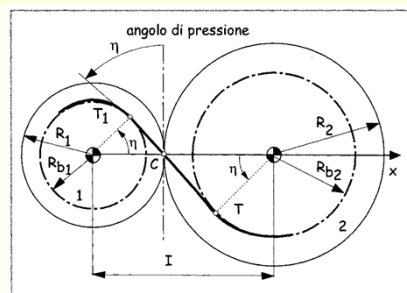
**T<sub>1</sub>T<sub>2</sub> = LINEA DI AZIONE (LINEA DI CONTATTO)**



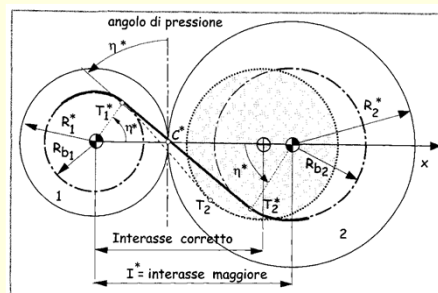


### Vantaggio del profilo ad evolvente di cerchio

Centro di Istantanea Rotazione fisso  $\Rightarrow \tau$  costante



$$R_1 = \frac{R_{b1}}{\cos \eta} \quad R_2 = \frac{R_{b2}}{\cos \eta}$$



$$\tau = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{b1}}{\cos \eta} \cdot \frac{\cos \eta}{R_{b2}} = \frac{R_{b1}}{R_{b2}}$$



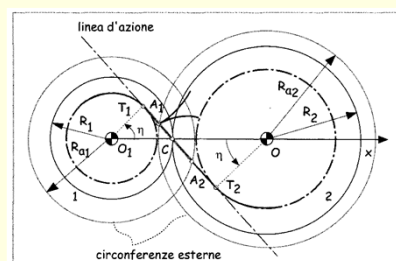
### Limitazioni per il corretto funzionamento

$$\overline{A_1 A_2} < \overline{T_1 T_2}$$

$$\overline{A_1 A_2} = \sqrt{R_{a2}^2 - R_{b2}^2} + \sqrt{R_{a1}^2 - R_{b1}^2} - I \sin \eta$$

$R_a$  = raggio della circonferenza di testa

$$\text{ARCO DI AZIONE: } E = \frac{L}{\cos \eta}$$



$$\text{RAPPORTO DI CONDOTTA: } r_c = \frac{E}{\text{passo}} > 1 \quad (1.2 < r_c < 1.4)$$





Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

### INTERFERENZA

CONTATTO CORRETTO:  $\overline{A_1A_2} < \overline{T_1T_2}$

$$R_{a2\max} = \sqrt{R_{b2}^2 + \mathbf{I}^2 \sin^2 \eta}$$

$$R_{a1\max} = \sqrt{R_{b1}^2 + \mathbf{I}^2 \sin^2 \eta}$$

LIMITAZIONE DELL'ADDENDUM (=  $m$ )



LIMITAZIONE DEL MODULO ( $m$ )



LIMITAZIONE DEL N° DI DENTI

$$z = \frac{2 \cdot R}{m}$$

**N° MINIMO DI DENTI**  $z_{\min} = f(\tau, \eta, \mathbf{I})$

Trasmissione del moto

Ruote dentate

33

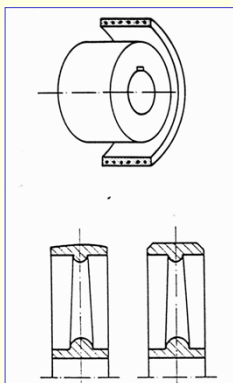


Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

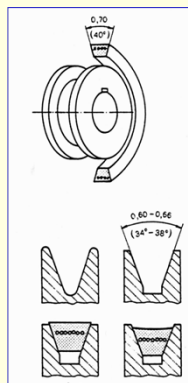
TRASMISSIONE DEL MOTO: Moto ROTATORIO → Moto ROTATORIO

### Trasmissioni con CINGHIE

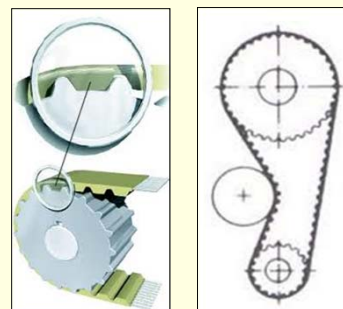
Cinghie **PIANE**



Cinghie **TRAPEZOIDALI**



Cinghie **DENTATE**



Trasmissione del moto

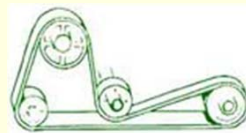
Trasmissioni con cinghie

34



## Trasmissioni con CINGHIE

Pregi	Limiti
Semplicità costruttiva	Non rigorosa costanza del rapporto di trasmissione
Elevati interassi	Necessità di pretensionamento
	Scarsa potenza e coppia trasmissibile



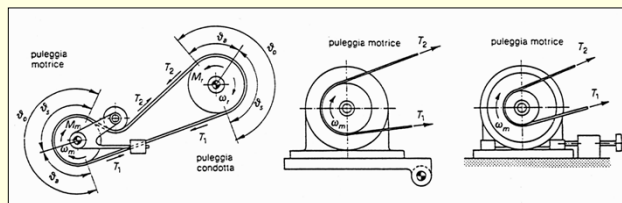
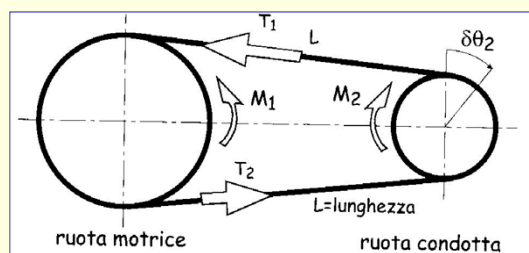
Rapporto di trasmissione

$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_1}{R_2}$$



## Trasmissioni con CINGHIE

### PRETENSIONAMENTO

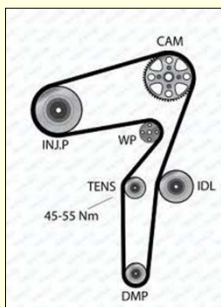




### Trasmissioni con **CINGHIE DENTATE** (Cinghie **SINCRONE**)

Rapporto di trasmissione

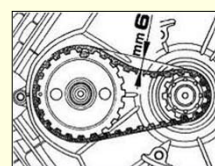
$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{z_1}{z_2}$$



Vantaggi:

Costanza del rapporto di trasmissione

Minore pretensionamento



Trasmissione del moto

Trasmissioni con cinghie

37

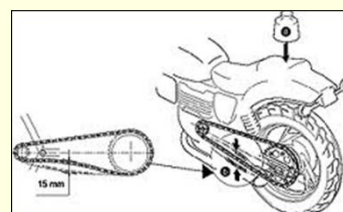
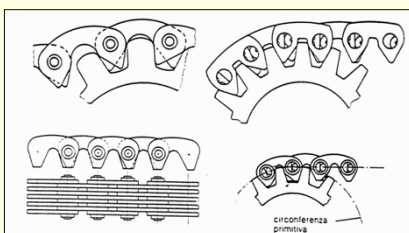


TRASMISSIONE DEL MOTO: Moto ROTATORIO → Moto ROTATORIO

### Trasmissioni con **CATENE**

Rapporto di trasmissione

$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{z_1}{z_2}$$



Trasmissione del moto

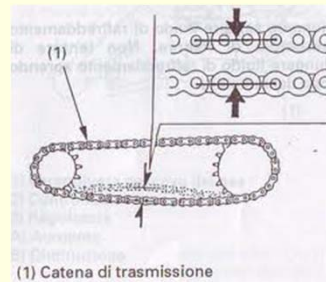
Trasmissioni con catene

38



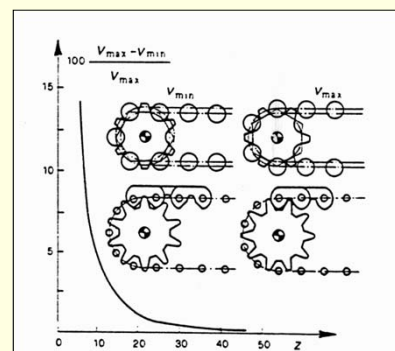
## Trasmissioni con **CATENE**

Pregi	Limiti
Elevati interassi	Rapporto di trasmissione non costante per l'effetto poligonale
Robustezza	Bassa coppia e potenza trasmissibile
	Rumorosità



### Effetto poligonale

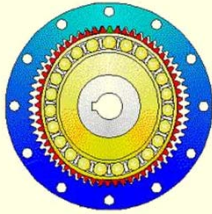
Oscillazione della velocità angolare



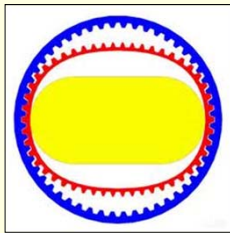


Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

TRASMISSIONE DEL MOTO:  
Moto ROTATORIO CONTINUO → Moto ROTATORIO CONTINUO



### HARMONIC DRIVE (Riduttore Armonico)



Pregi	Limiti
Costanza del rapporto di trasmissione	Dispositivo complesso
Coassialità tra movente e cedente	Bassa coppia e potenza trasmissibile

Trasmissione del moto

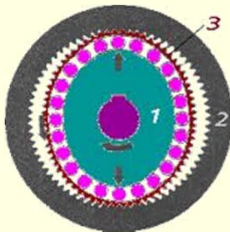
Harmonic Drive

41



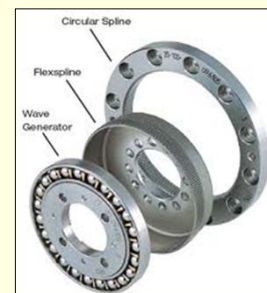
Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

### HARMONIC DRIVE (Riduttore Armonico)



Rapporto di trasmissione

$$\tau = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3}$$



Trasmissione del moto

Harmonic Drive

42



Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

## Applicazioni dell'HARMONIC DRIVE

### Robotica e Automazione



Trasmissione del moto

Harmonic Drive

43



Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

### TRASMISSIONE DEL MOTO:

Moto RETTILINEO CONTINUO ↔ Moto ROTATORIO CONTINUO

Rapporto di trasmissione

#### Pignone → cremagliera

$$\tau = \frac{v_{cre}}{\omega_{pign}} = r_{pign}$$

#### Cremagliera → Pignone

$$\tau = \frac{\omega_{pign}}{v_{cre}} = \frac{1}{r_{pign}}$$



Trasmissione del moto

Pignone - Cremagliera

44



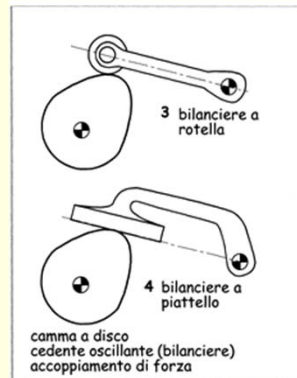
### TRASMISSIONE DEL MOTO:

Moto ROTATORIO CONTINUO  $\Leftrightarrow$  Moto ROTATORIO ALTERNATO

CAMMA A DISCO  $\rightarrow$  BILANCIERE

Rapporto di velocità

$$\tau = \frac{\omega_{bil}}{\omega_{camma}} \neq cost$$



Trasmissione del moto

Camma - Bilanciere

45



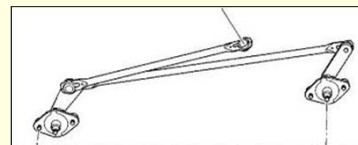
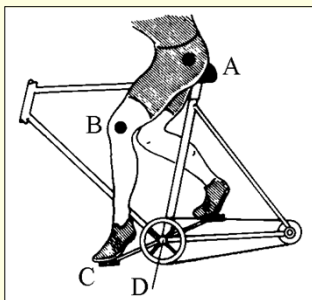
### TRASMISSIONE DEL MOTO:

Moto ROTATORIO CONTINUO  $\Leftrightarrow$  Moto ROTATORIO ALTERNATO

### QUADRILATERO ARTICOLATO

Rapporto di velocità

$$\tau = \frac{\omega_{bilanciere}}{\omega_{manovella}} \neq cost$$



Trasmissione del moto

Quadrilatero articolato

46



Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

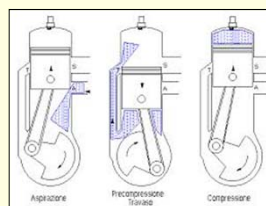
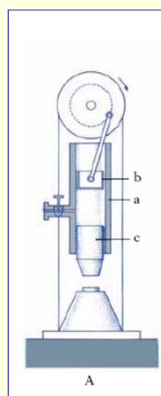
TRASMISSIONE DEL MOTO:

Moto ROTATORIO CONTINUO ↔ Moto Rettilineo ALTERNATO

### MANOVELLISMO DI SPINTA

Rapporto di velocità

$$\tau = \frac{V_{pattino}}{\omega_{manovella}} \neq \text{cost}$$



Trasmissione del moto

Manovellismo di spinta

47



Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15  
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

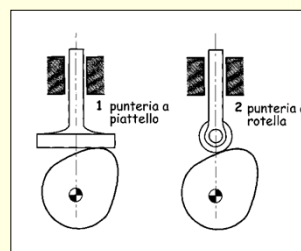
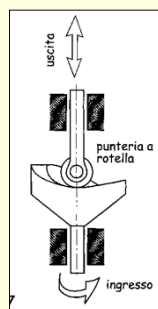
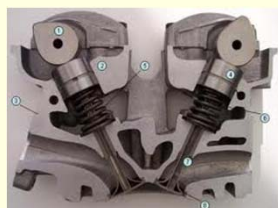
TRASMISSIONE DEL MOTO:

Moto ROTATORIO CONTINUO ↔ Moto Rettilineo ALTERNATO

Rapporto di velocità

$$\tau = \frac{V_{punteria}}{\omega_{camma}} \neq \text{cost}$$

### Camma a disco → punteria



Trasmissione del moto

Camma - punteria

48