



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



Dipartimento
di Ingegneria Industriale

Il progetto di una pompa centrifuga La Voluta

Corso di Macchine 1

Agenda

- ▶ La voluta: funzioni, evoluzione del fluido, tipologie
- ▶ Disegno d'assieme
- ▶ Interazione girante-voluta: note integrative

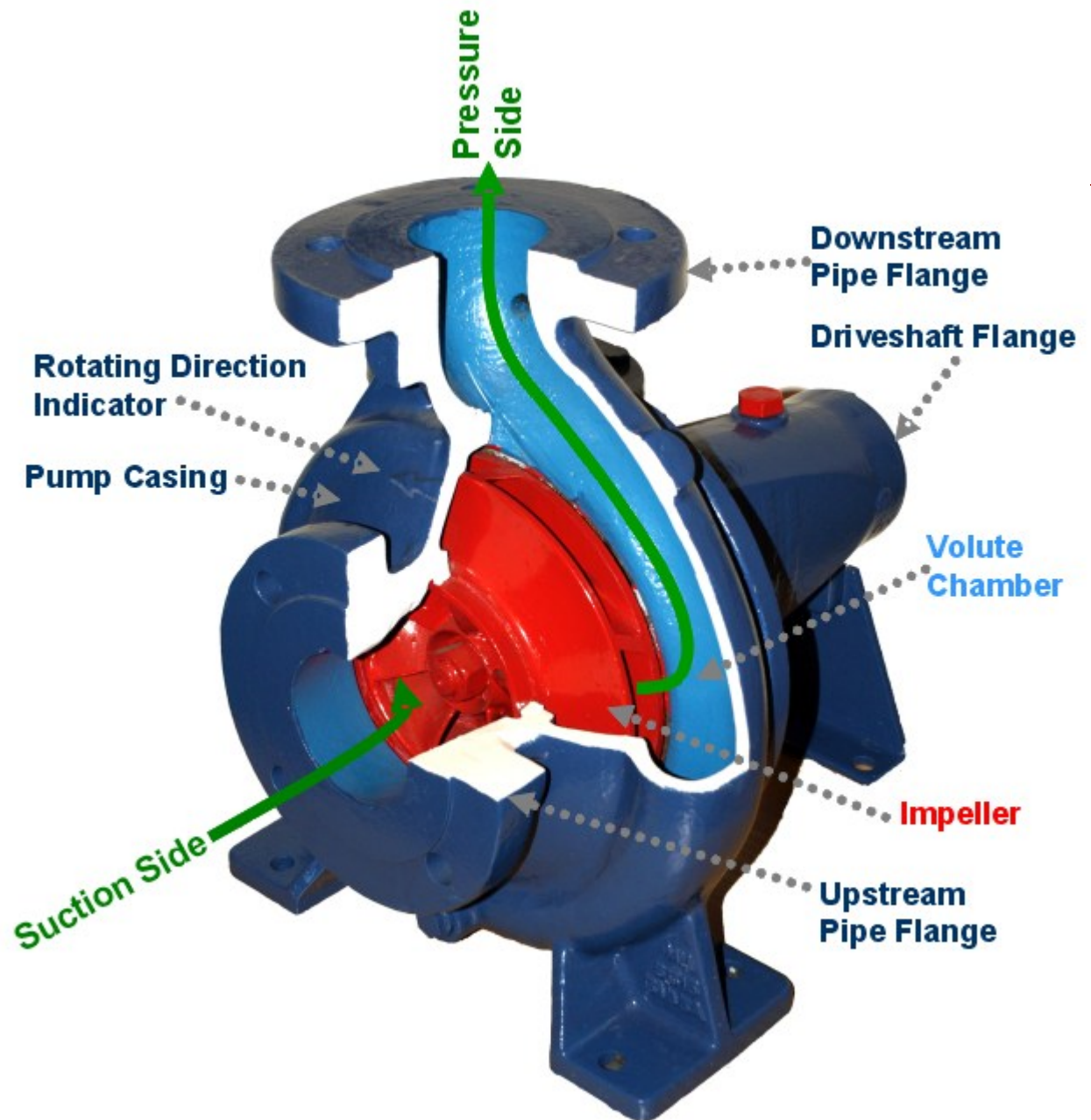


La voluta: funzioni, evoluzione
del fluido, tipologie

La voluta

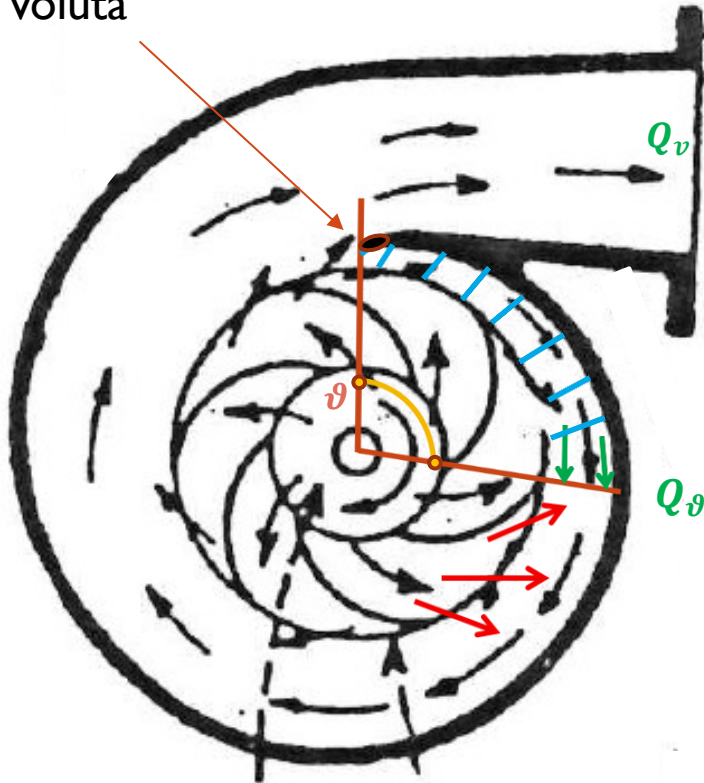


La voluta



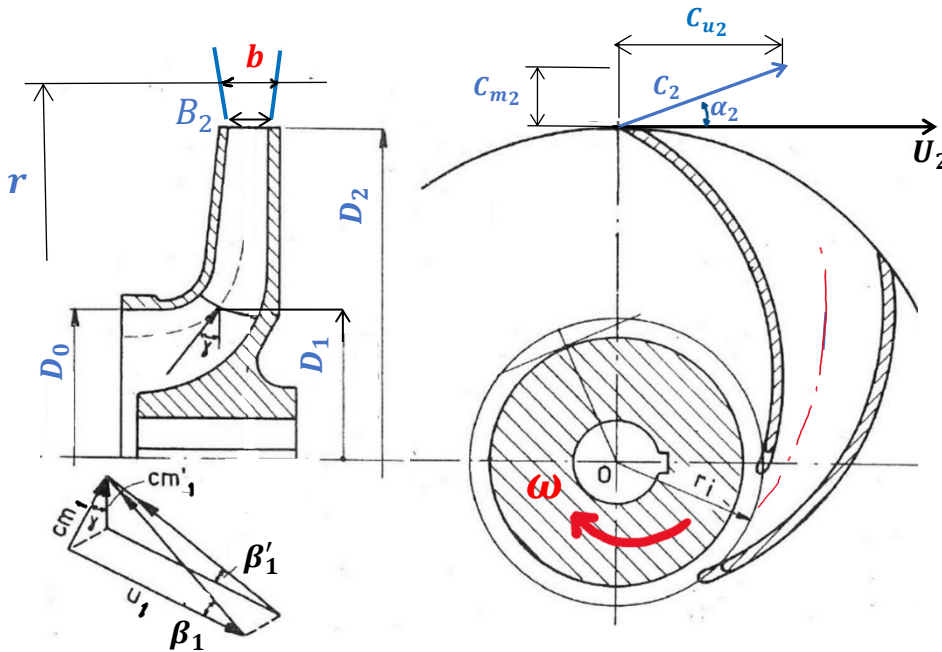
La voluta

Lingua della
voluta

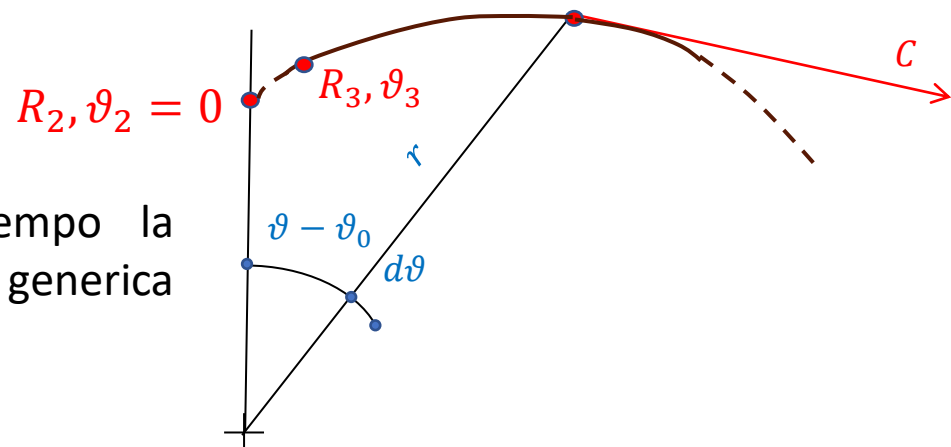


- La voluta ha il compito di **raccogliere** il fluido che esce dalla girante per **convogliarlo** nella condotta di mandata
- Il processo di convogliamento della portata è fonte inevitabile di **perdite di energia**:
 - Perdite **localizzate** (lingua della voluta e deviazione del fluido)
 - Perdite **continue**
 - Perdite di **miscelamento** tra il fluido scaricato da un condotto interpalare girante e quello nel frattempo raccolto all'interno della voluta
- Per minimizzare le perdite dovute **al progressivo cambio di direzione** imposto dal contorno solido della voluta al fluido, si dimensiona la voluta di modo che la sua parete solida segua la **traiettoria naturale** del fluido qualora fosse libero di effondere a valle della girante

Moto della particella

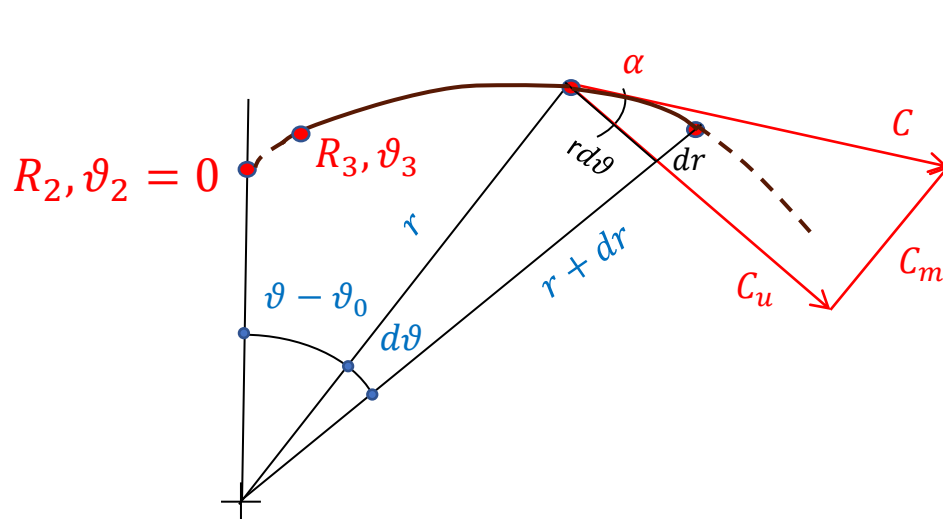


- Per rendere minime queste perdite si determina **l'equazione che descrive la traiettoria di una particella** che esce dalla girante ed si muove tra due pareti laterali che distano **$b = f(r)$**
- La **posizione iniziale** della traiettoria può coincidere con la sezione di uscita della girante o può fare riferimento ad un punto generico 3 a valle della stessa di coordinate polari **(R_3, ϑ_3)**



- Dopo un certo intervallo di tempo la particella si troverà in una generica posizione **(r, ϑ)** con una velocità **$\vec{C}$**

La voluta



- La velocità $\vec{C}$ può sempre essere scomposta nelle sue componenti $\vec{C}_m$ e $\vec{C}_u$
- La direzione della particella sarà sempre individuata dall'angolo di flusso α valutato rispetto alla direzione tangenziale secondo la relazione:

$$\tan \alpha = \frac{C_m}{C_u} = \frac{Q_v}{2 \pi b r C_u}$$

- In coordinate polari, si può esprimere tale angolo come:

$$\tan \alpha = \frac{dr}{r d\vartheta}$$

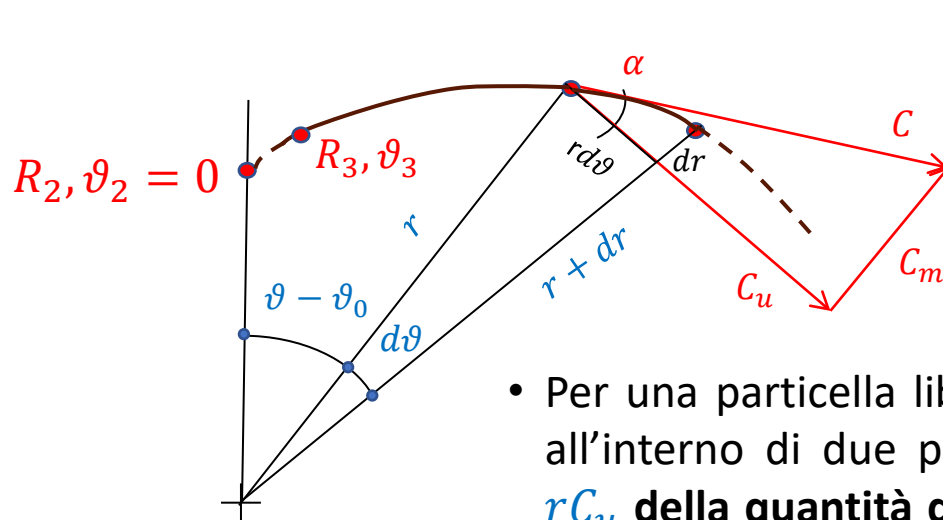
cosicché:

$$\frac{dr}{r d\vartheta} = \frac{Q_v}{2 \pi b r C_u} \rightarrow d\vartheta = \frac{2 \pi r C_u}{Q_v} \frac{b}{r} dr$$

per cui, integrando, si ottiene: $\vartheta - \vartheta_3 = \frac{2\pi}{Q_v} \int_{R_3}^r r C_u \frac{b}{r} dr$



La voluta



$$\vartheta - \vartheta_3 = \frac{2\pi}{Q_v} \int_{R_3}^r r C_u \frac{b}{r} dr$$

- Per una particella libera di defluire a valle della girante (anche se all'interno di due pareti) deve **conservarsi il momento angolare rC_u della quantità di moto** non essendoci momenti dovuti a forze esterne:

$$M = \rho Q(rC_u - R_2C_{u2}) = 0$$

$$rC_u = R_2C_{u2} = \text{cost}$$

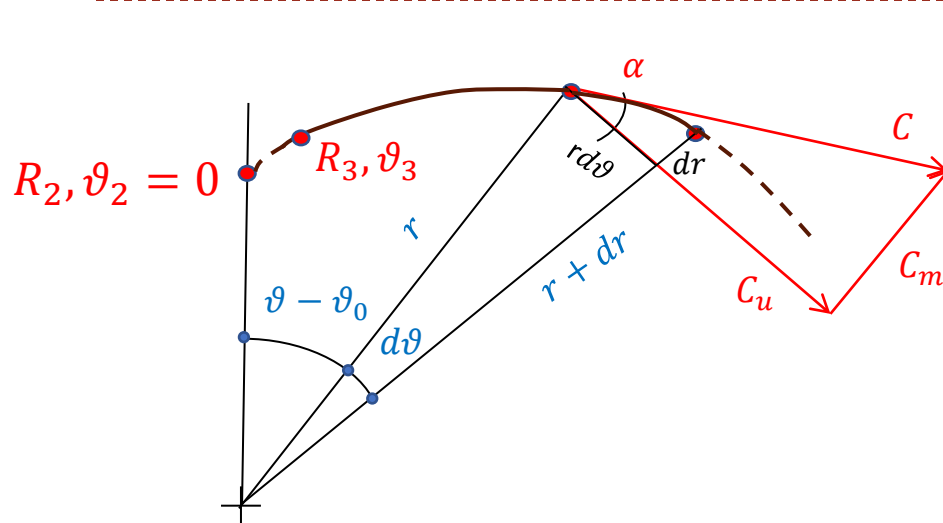
- L'integrale precedente diventa:

$$\vartheta - \vartheta_3 = \frac{2\pi}{Q_v} R_2 C_{u2} \int_{R_3}^r \frac{b}{r} dr$$

Equazione della
corrente libera



La voluta



$$\vartheta - \vartheta_3 = \frac{2\pi}{Q_v} r_2 C_{u2} \int_{R_3}^r \frac{b}{r} dr$$

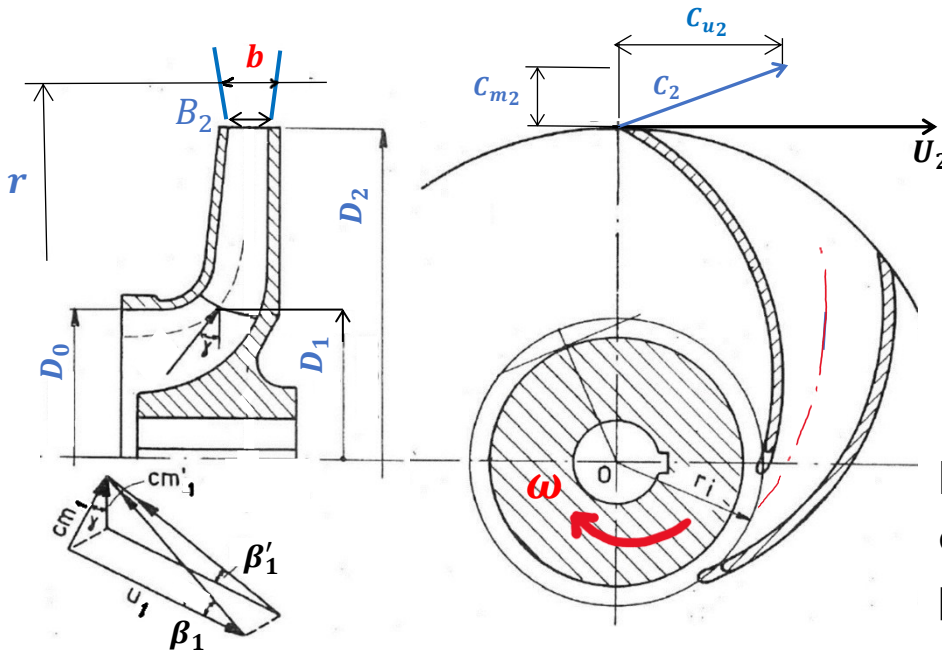
- Per **annullare** la **perdita localizzata** per progressivo cambio di direzione che altrimenti sarebbe imposta alla particella fluida, le coordinate geometriche polari r, ϑ_v del contorno solido della voluta dovranno **coincidere** con quelle locali r, ϑ_p della traiettoria libera della stessa particella:

Coordinate polari voluta = Coordinate polari della traiettoria libera

- In conclusione la voluta comincerà alle coordinate ϑ_3, R_3 ed il suo **contorno solido** è descritto dall' equazione:

$$\vartheta_v - \vartheta_3 = \vartheta - \vartheta_3 = \frac{2\pi}{Q_v} R_2 C_{u2} \int_{R_3}^r \frac{b}{r} dr$$

Tipologie di volute



$$\vartheta_v - \vartheta_3 = \frac{2\pi}{Q_v} R_2 C_{u2} \int_{R_3}^r \frac{b}{r} dr$$

Per risolvere questo integrale, è necessario definire la tipologia di voluta che si vuole progettare

- Esistono le seguenti tipologie volute.

a) Volute a sezione rettangolare: $b = \text{cost} = b_3$

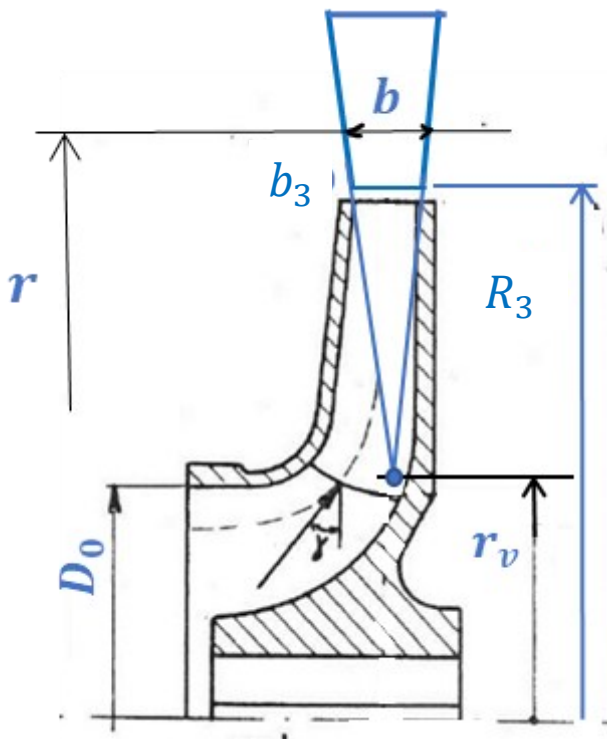
$$\vartheta_v - \vartheta_3 = \frac{2\pi}{Q_v} R_2 C_{u2} \int_{R_3}^r \frac{b}{r} dr = \frac{2\pi}{Q_v} R_2 C_{u2} b_3 \ln \frac{r}{R_3}$$

impiegata comunemente nei ventilatori e soffianti centrifughe



Tipologie di volute

b) Volute a sezione trapezoidale: $b = b_3 \frac{r-r_v}{r_3-r_v}$



$$\begin{aligned}\vartheta_v - \vartheta_3 &= \frac{2\pi}{Q_v} R_2 C_{u2} \int_{R_3}^r b_3 \frac{r-r_v}{R_3-r_v} \frac{1}{r} dr = \\ &= \frac{2\pi R_2 C_{u2}}{Q_v} \frac{b_3}{R_3-r_v} \int_{R_3}^r \left(1 - \frac{r_v}{r}\right) dr = \\ &= \frac{2\pi R_2 C_{u2}}{Q_v} \frac{b_3}{R_3-r_v} \left[r - R_3 - r_v \ln \frac{r}{R_3} \right]\end{aligned}$$

- Posto $r_v = 0$, si ottiene:

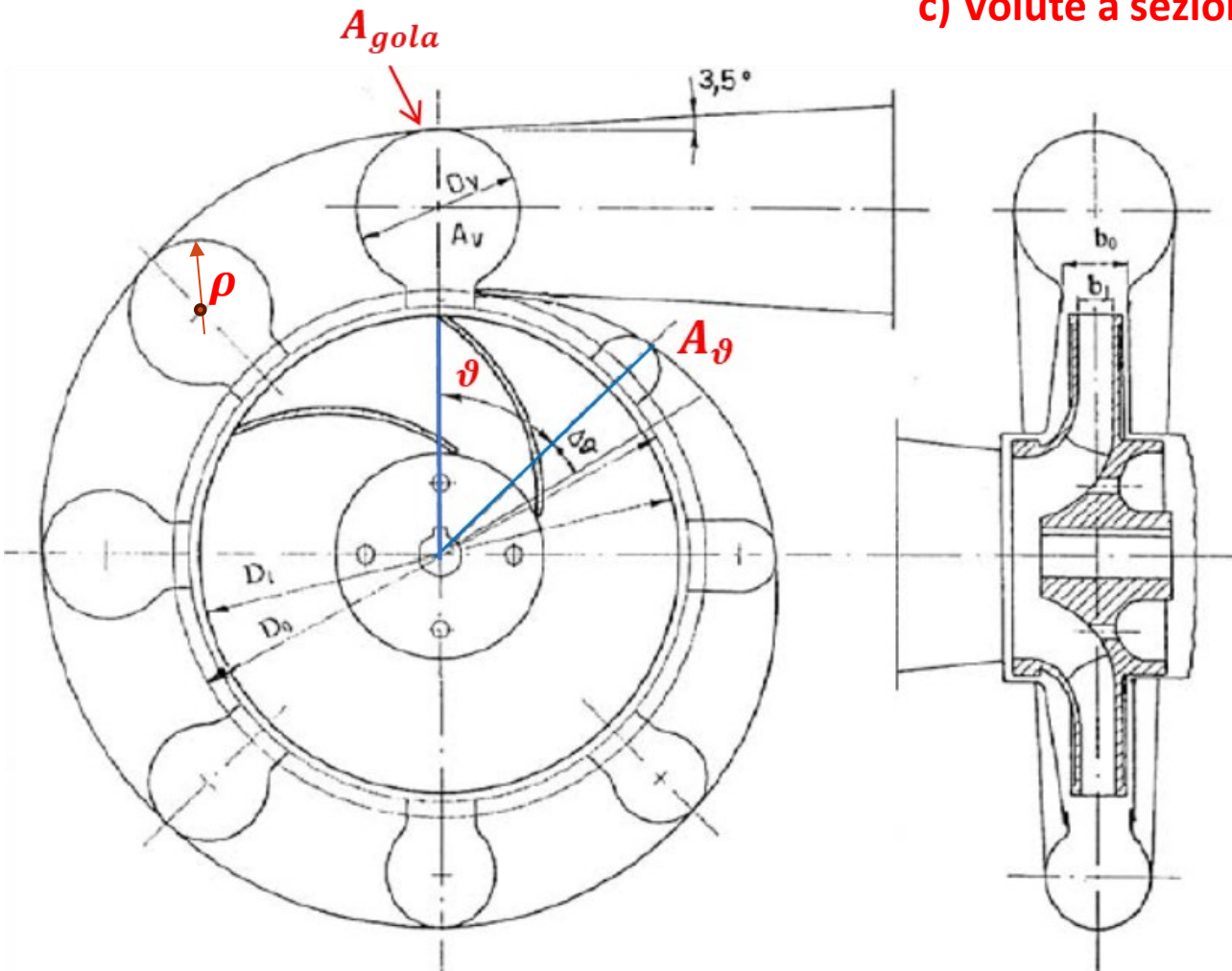
$$\vartheta_v - \vartheta_3 = \frac{2\pi R_2 C_{u2}}{Q_v} \frac{b_3}{R_3} (r - R_3)$$

che è l'equazione di una spirale di Archimede!

- Le volute a sezione trapezoidale trovano impiego nelle **pompe centrifughe**

Voluta a sezione circolare

c) Volute a sezione circolare

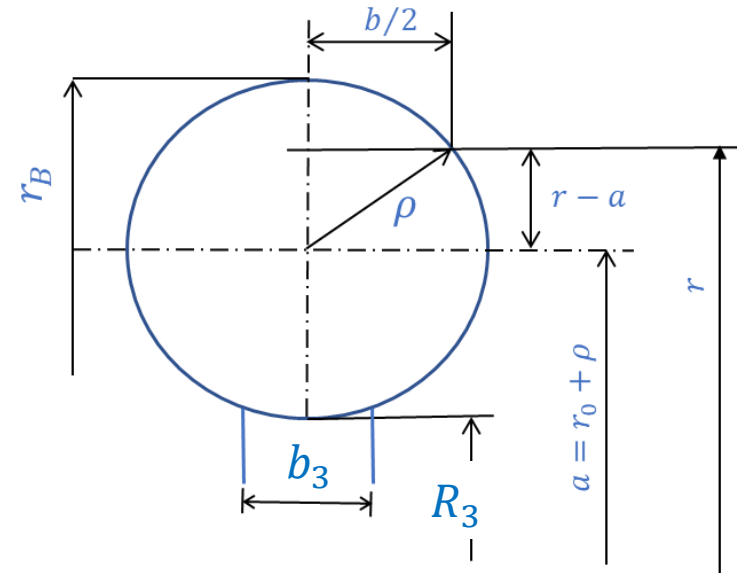


Per ogni angolo ϑ si determina il valore del raggio ρ del cerchio

La sezione di gola è quella con il raggio massimo ρ_{max}

Voluta a sezione circolare: dimensionamento

c) Volute a sezione circolare



$$\vartheta_v - \vartheta_3 = \frac{2\pi}{Q_v} R_2 C_{u_2} \int_{R_3}^r \frac{b}{r} dr$$

- Integrando, si ottengono i seguenti risultati per la sezione di gola della voluta:

$$\rho_{max} = \frac{Q_v}{2\pi R_2 C_{u_2}} + \sqrt{R_3 \frac{Q_v}{\pi R_2 C_{u_2}}}$$

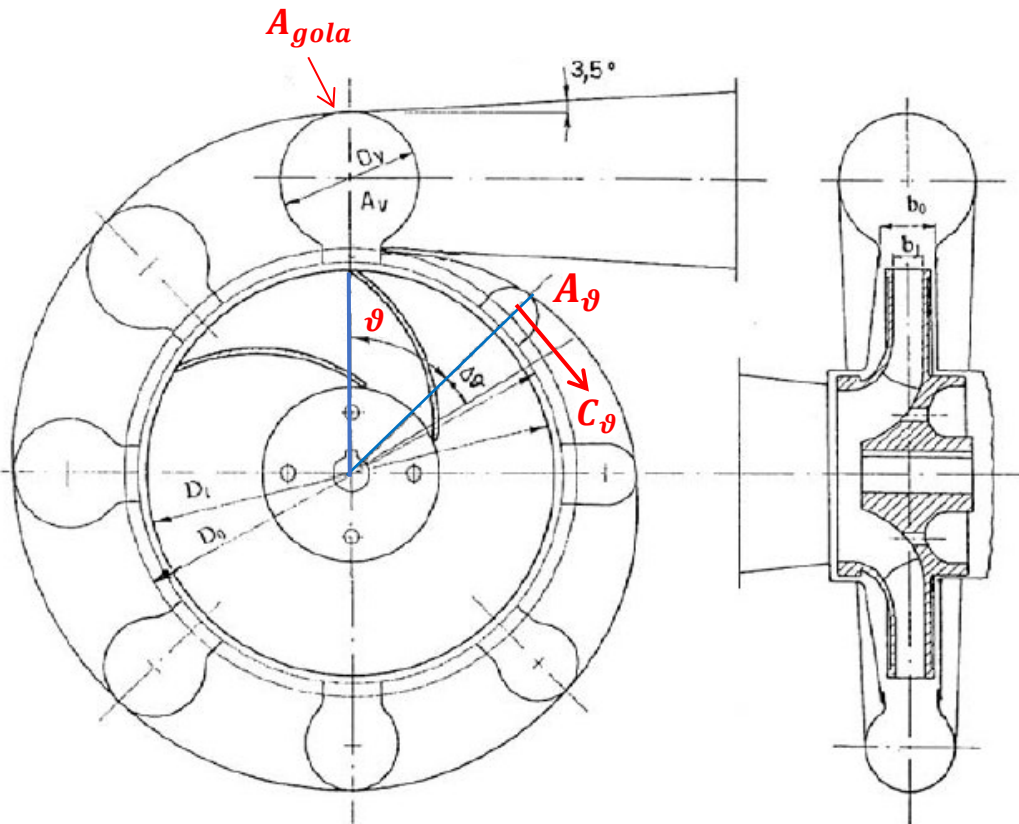
dove R_3 è sempre il raggio base della voluta

- Per una sezione generica individuata dall'angolo $\vartheta^{[^\circ]}$ (in gradi) si ottiene:

$$\rho = \vartheta^0 \frac{Q_v}{720\pi R_2 C_{u_2}} + \sqrt{2R_3 \vartheta^{[^\circ]} \frac{Q_v}{720 \pi R_2 C_{u_2}}}$$



Voluta a sezione circolare: dimensionamento alternativo



- E' stato proposto in letteratura un procedimento più semplice per progettare la voluta in cui si pone la velocità C di attraversamento **costante** lungo lo sviluppo della voluta:

$$C_{\vartheta} = \frac{Q_{\vartheta}}{A_{\vartheta}} = \text{cost} = C_{gola} = \frac{Q_v}{A_{gola}}$$

- Dal momento che, nella generica sezione individuata dall'angolo ϑ si ha:

$$Q_{\vartheta} = Q_v \frac{\vartheta}{2\pi}$$

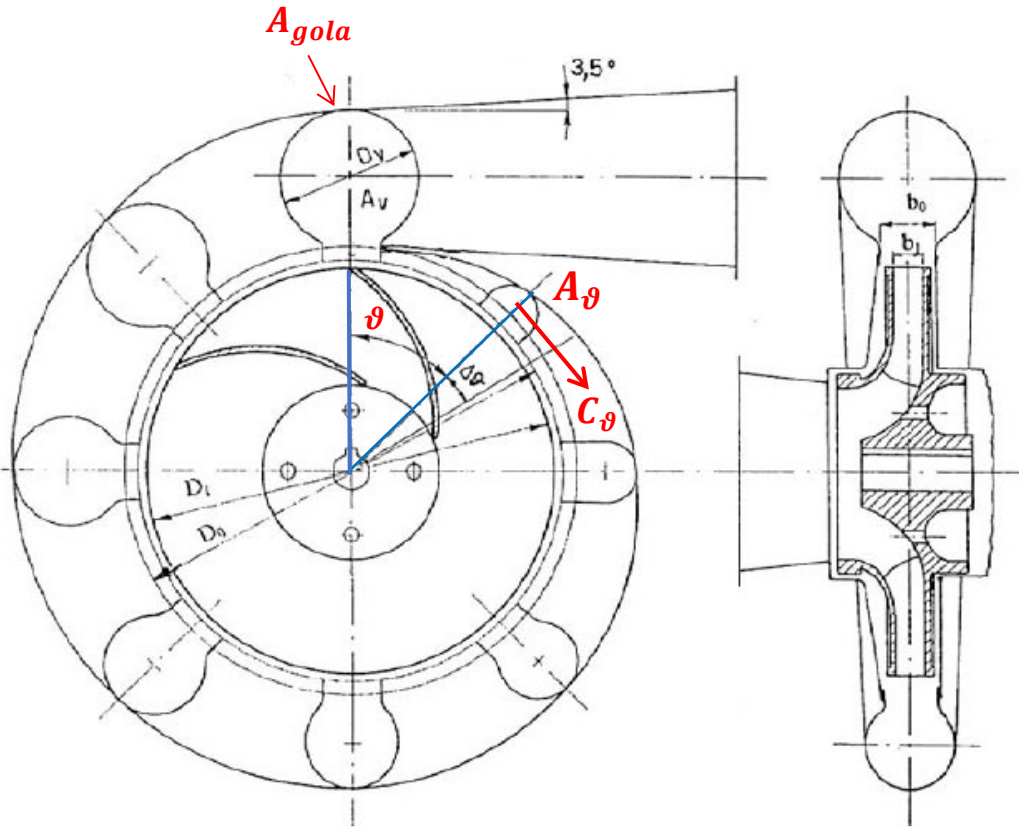
- Ne consegue:

$$Q_{\vartheta} = Q_v \frac{\vartheta}{2\pi} = C_{\vartheta} A_{\vartheta} = \frac{Q_v}{A_{gola}} A_{\vartheta}$$



$$A_{\vartheta} = A_{gola} \frac{\vartheta}{2\pi}$$

Voluta a sezione circolare: dimensionamento alternativo



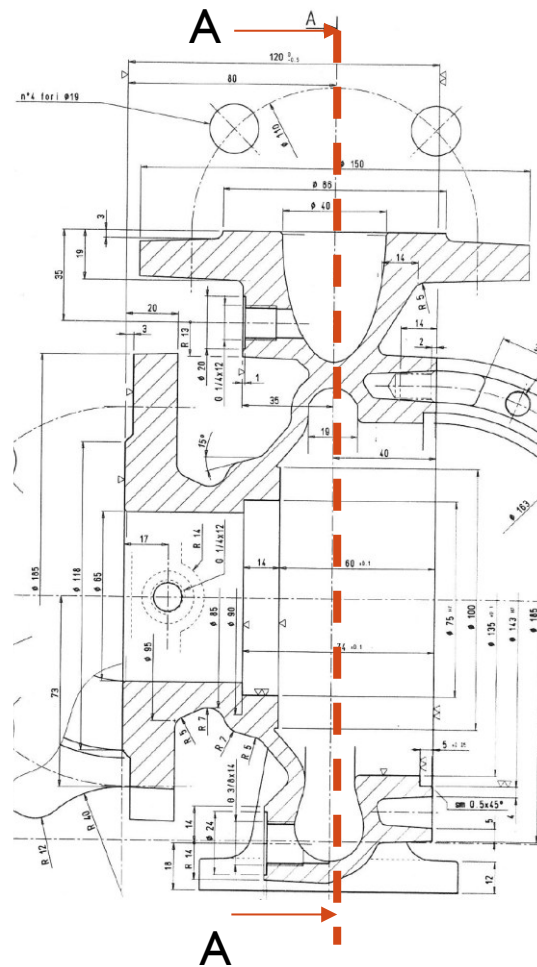
$$A_{\vartheta} = A_{gola} \frac{\vartheta}{2\pi} = \frac{Q_v}{C_{gola}} \frac{\vartheta}{2\pi}$$

- Per rendere operativa la procedura è necessario assumere un valore appropriato per la velocità C_{gola} del fluido nella sezione di gola
- In letteratura tecnica è suggerito di correlare la velocità C_{gola} a C_{u2} all'uscita della girante:

$$C_{gola} \approx (0,5 \div 0,65) C_{u2}$$

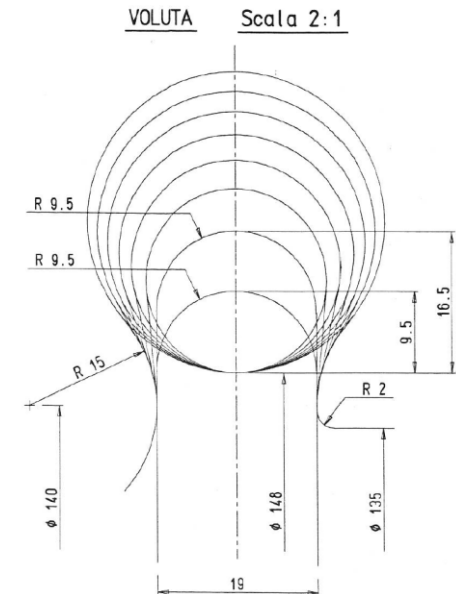
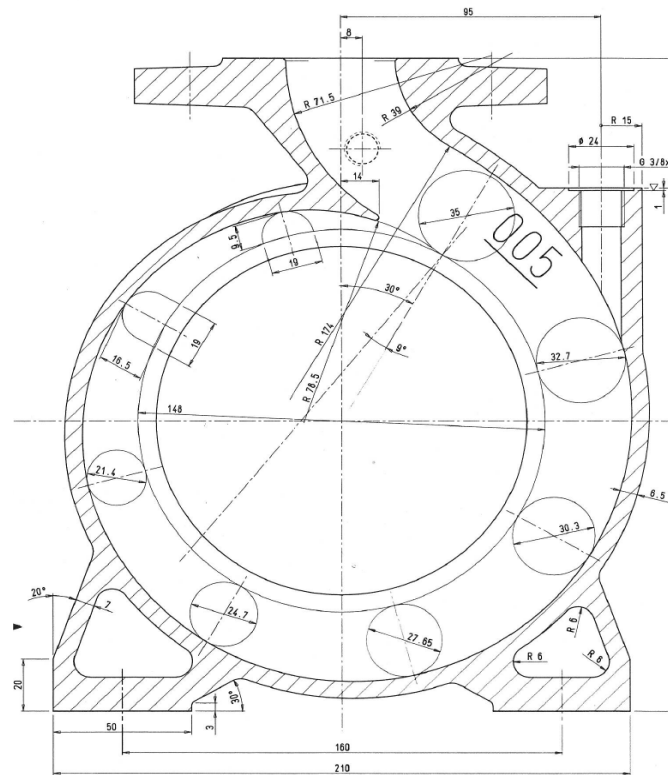
- E' il caso di segnalare che qualora per la sezione di gola A_{gola} si assuma il diametro che deriva dall'approccio precedente basato sulla conservazione del momento angolare rC_u , le altre sezioni A_{ϑ} della voluta differiscono di poco con le due procedure di calcolo

Tipologie di volute



SEZ A-A

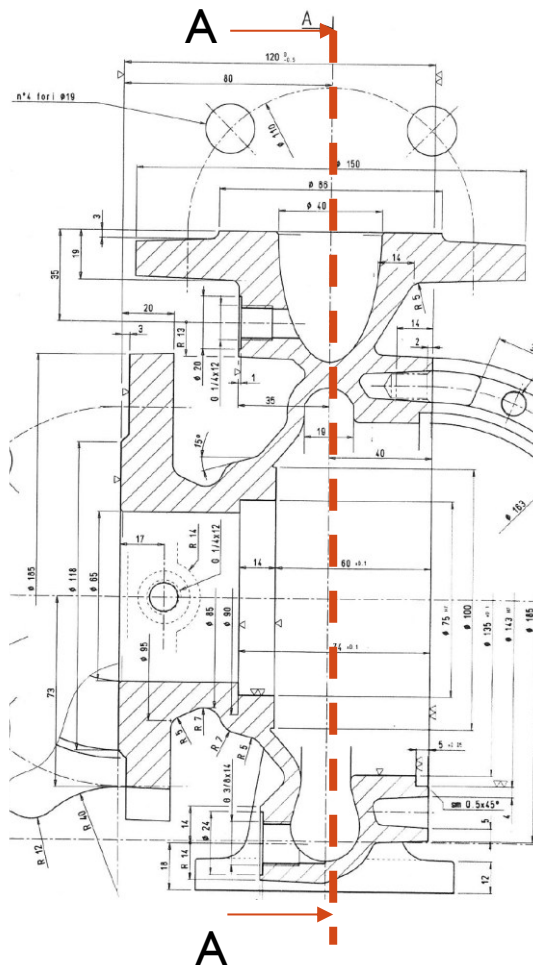
Sez. A-A



Queste tre sezioni sono tra loro correlate e devono perciò far parte di un unico disegno!!

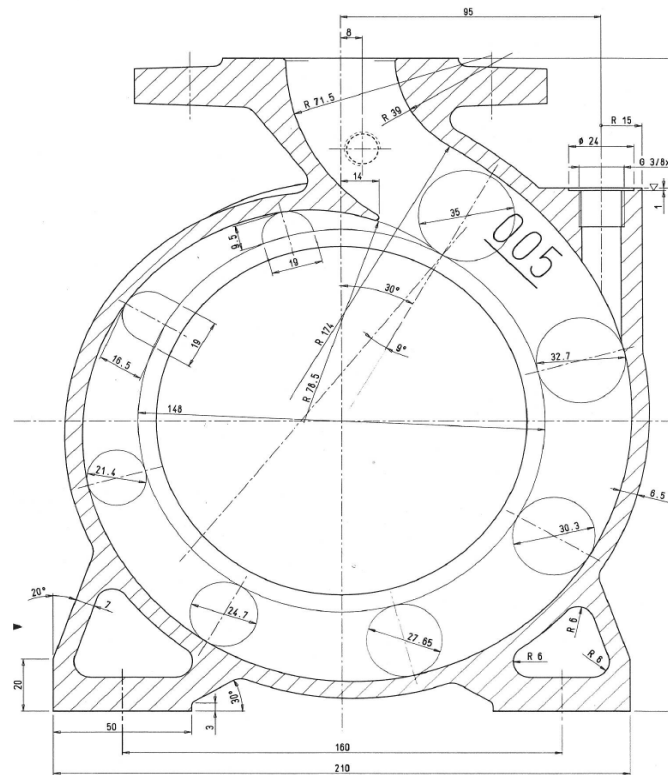
Voluta a sezione circolare e scarico radiale

Tipologie di volute

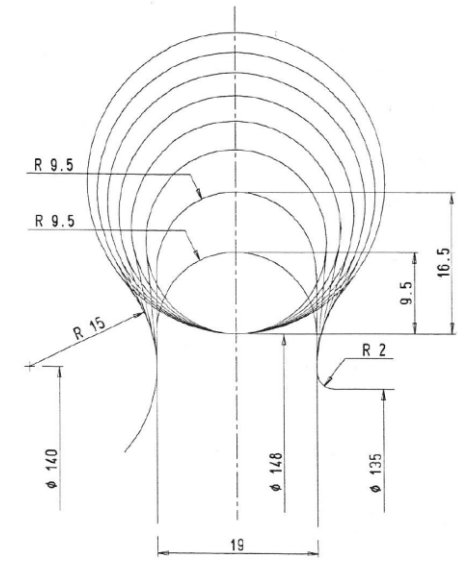


SEZ A-A

Sez. A-A



VOLUTA Scala 2:1

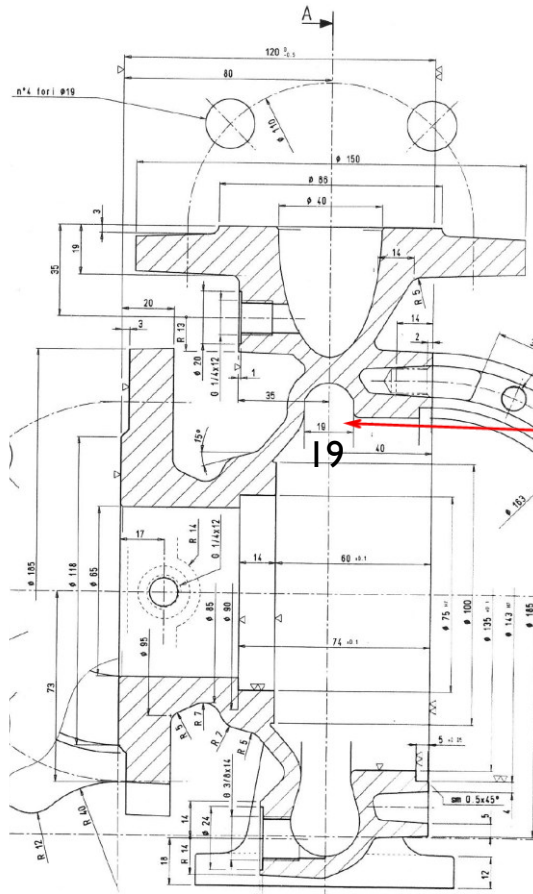


Le sezioni circolari di deflusso vengono rappresentate ribaltate nella sezione circonferenziale

Voluta a sezione circolare e scarico radiale

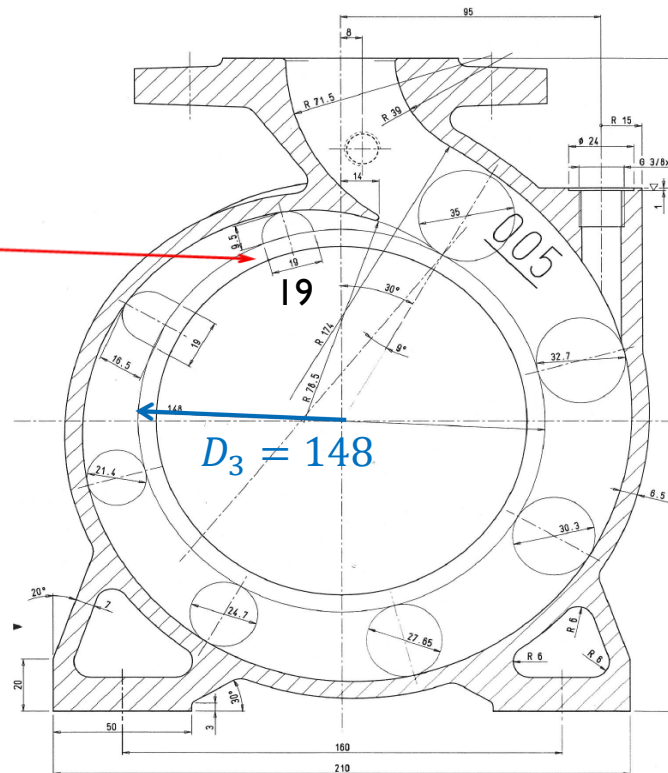


Tipologie di volute



SEZ A-A

Sez. A-A

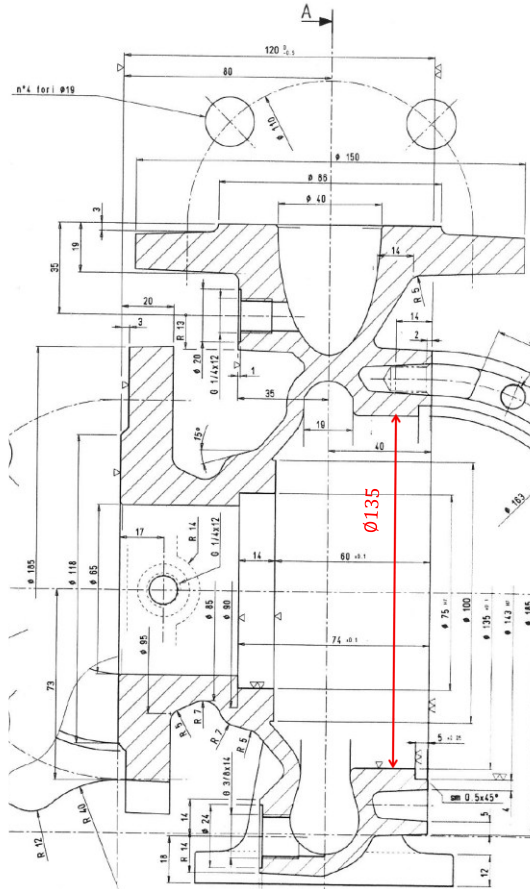
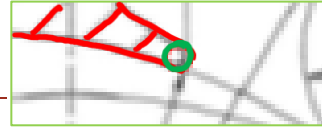


Voluta a sezione circolare e scarico radiale

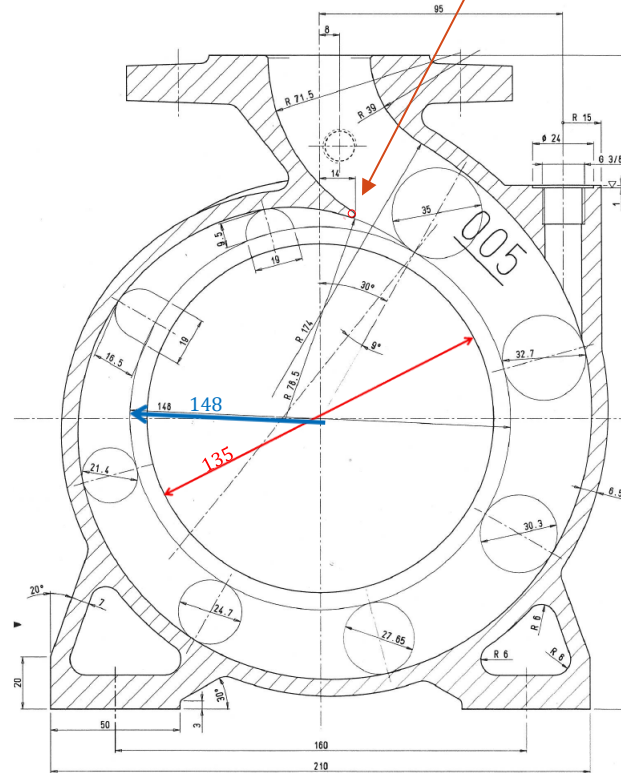
- La larghezza base $b_3 = 19 \text{ mm}$ della voluta è visibile nella **Sez. A-A** attraverso un ribaltamento di 90° delle sezione trasversali di deflusso
- La larghezza b_3 è maggiore della larghezza della girante B_2 per tener conto dello spessore delle pareti e del gioco necessario per il montaggio ($1 \div 2 \text{ mm}$)
- Il diametro base della voluta D_3 , ossia il diametro da cui inizia il profilo spiraliforme della voluta, è solitamente $1.05 \div 1.1 D_2$



Tipologie di volute



SEZ A-A

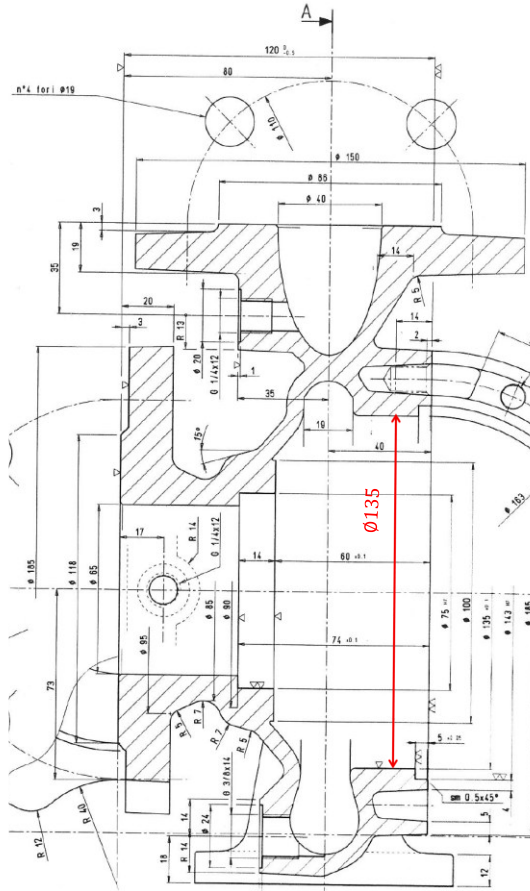


- Il diametro $\varnothing 135$ indicato in Figura ha la funzione di consentire l'inserimento della girante all'interno della cassa, e deve essere perciò **maggiore di qualche mm** del diametro esterno D_2 della girante
- La lingua della voluta **non inizia** dalla circonferenza base ($D_3 = 148 \text{ mm}$) ma è collocato a una distanza superiore per consentirne il collegamento con la bocca di mandata tramite **raggi di raccordo non inferiori** a circa **1.5 mm**

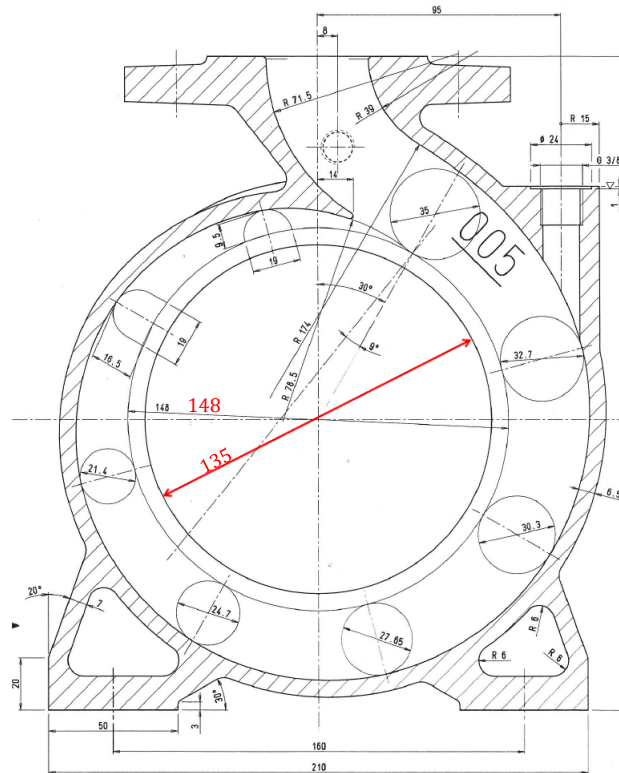
Voluta a sezione circolare e scarico radiale



Tipologie di voluta



SEZ A-A



Voluta a sezione circolare e scarico radiale

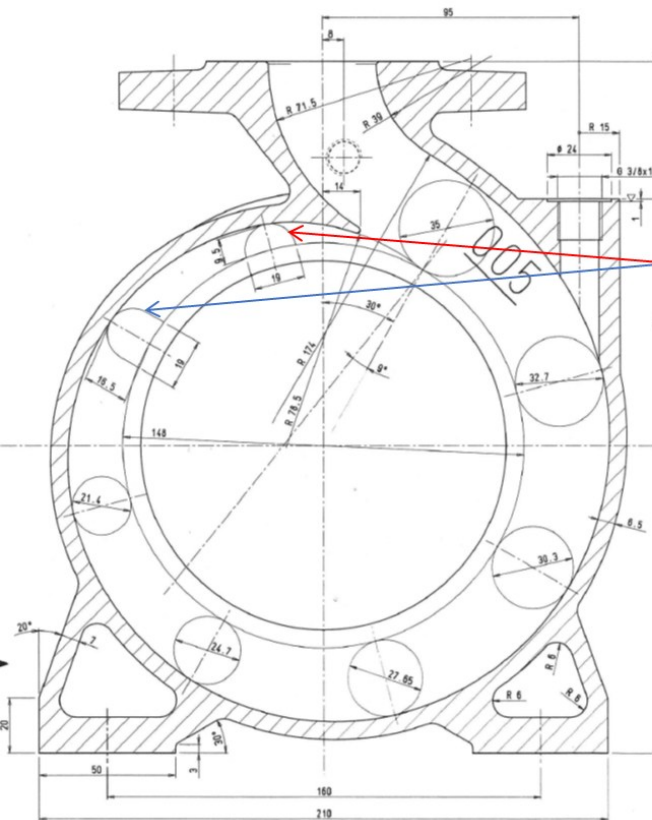
- L'allontanamento della lingua dal diametro base D_3 consente anche di attenuare la disuniformità del moto in uscita dalla girante, e con essa anche eventuali perdite per incidenza all'imbocco della lingua
- Nell'esempio di figura Il contorno della voluta inizia sulla circonferenza base in un punto i ruotato di circa 30° rispetto all'asse verticale della girante per poter disporre la bocca di mandata simmetricamente rispetto a tale asse

$$\rho = \vartheta^{[^\circ]} \frac{Q_v}{720 \pi R_2 C_{u_2}} + \sqrt{2 R_3 \vartheta^{[^\circ]} \frac{Q_v}{720 \pi R_2 C_{u_2}}}$$

Tipologie di voluta

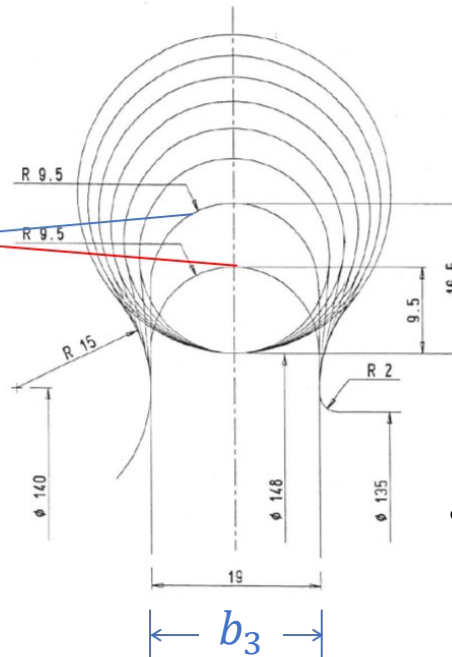
SEZ A-A

Sez. A-A



Voluta a sezione circolare e scarico radiale

VOLUTA Scala 2:1



- Il **tratto iniziale** della voluta, quello cioè che parte dalla lingua, **non è formato da sezioni circolari** di forma intera come le successive
- La ragione risiede nel fatto che per angoli ϑ modesti l'equazione fornisce raggi delle sezioni e quindi diametri $d = 2\rho$ più piccoli della larghezza base b_3 della voluta
- Per ragioni legate alla costruzione dello **stampo**, che esige un **inviluppo regolare** della singole sezioni di attraversamento, queste sezioni vengono modificate secondo una ben definita procedura

Tipologie di valuta

b)

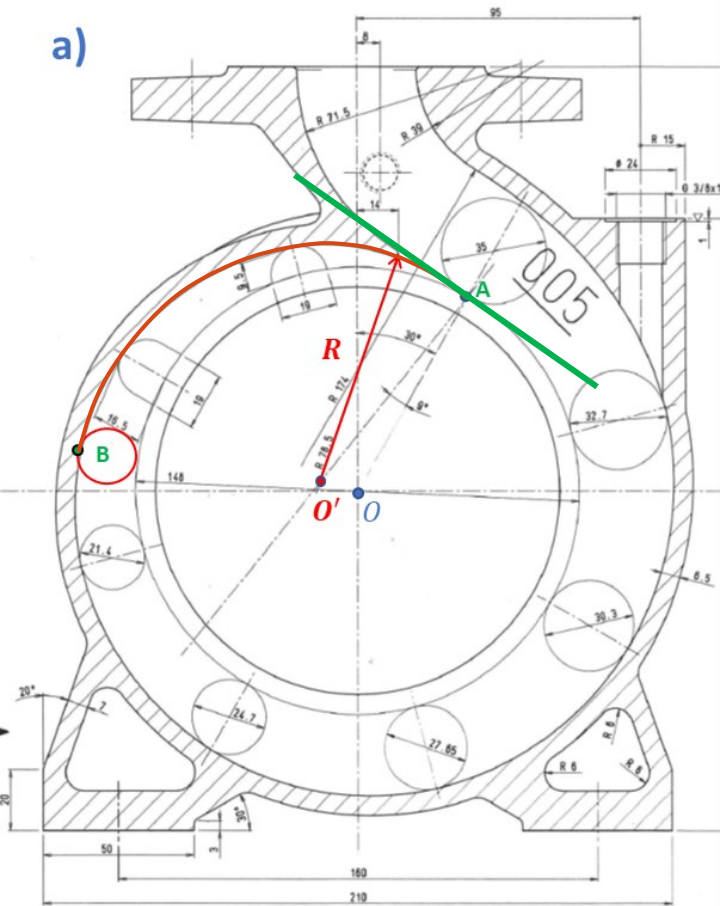
[illegible]

- Si determina l'angolo ϑ della sezione di attraversamento limite della voluta, quella cioè caratterizzata da un diametro $d = 2\rho = b_3$
- Si disegna tale sezione ribaltata nella vista circonferenziale appoggiata alla circonferenza di base ($d = 2\rho = b_3$)

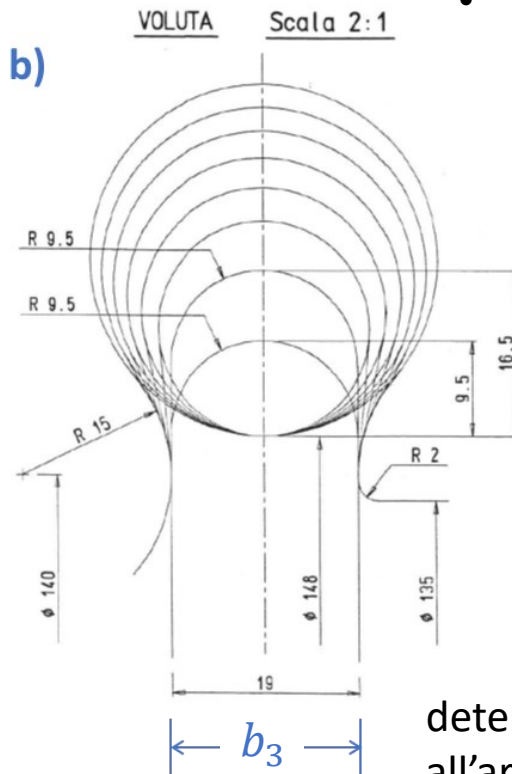
Tipologie di volute

Sez. A-A

a)



b)



- Si deve disegnare il primo arco di circonferenza di centro O' e raggio $R = O'A = O'B$ ($R = 78.5 \text{ mm}$ in Fig. a)

Ma dove è il centro O' ?

- Per determinare il centro di curvatura O' dell'arco di circonferenza AB si deve

determinare la tangente in A all'arco di circonferenza AB

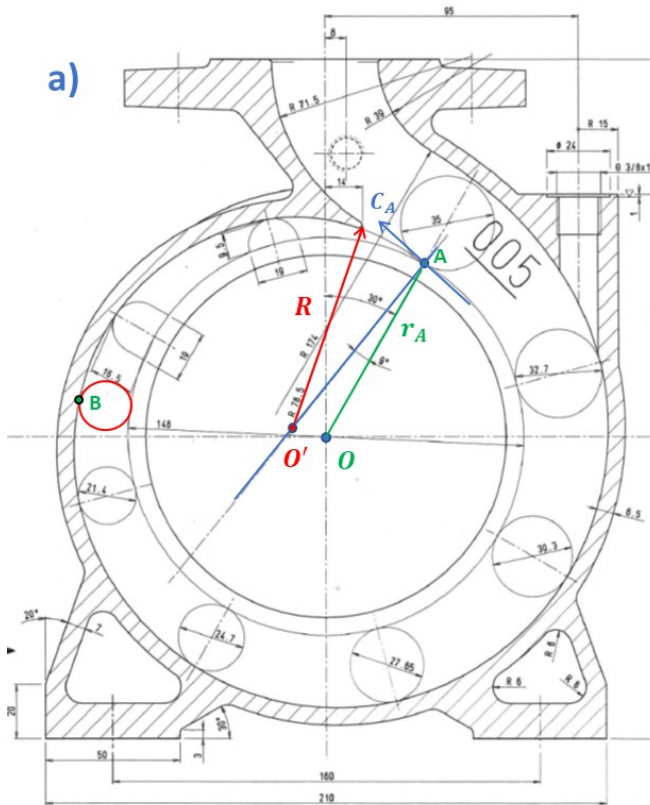
- Questa tangente si pone pari alla direzione media della velocità assoluta C_A nel punto A per consentire al fluido di imboccare la lingua della voluta senza significative perdite per incidenza



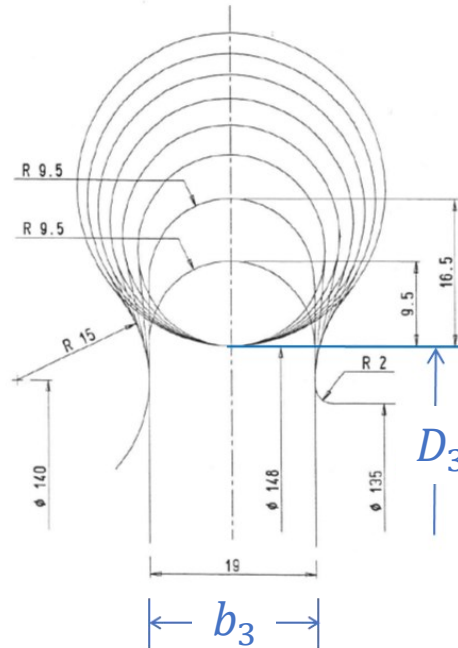
Tipologie di voluta

Sez. A-A

a)



VOLUTA Scala 2:1



- La velocità radiale C_{rA} sul raggio R_3 (punto A in Fig. a) è data da:

$$C_{rA} = \frac{Q_v}{\pi D_3 b_3}$$

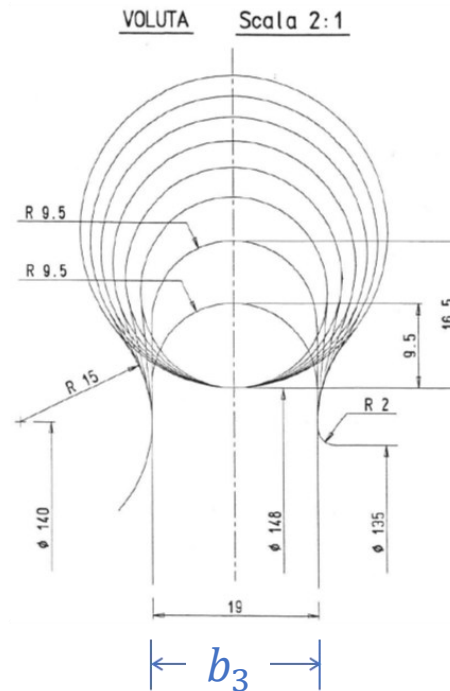
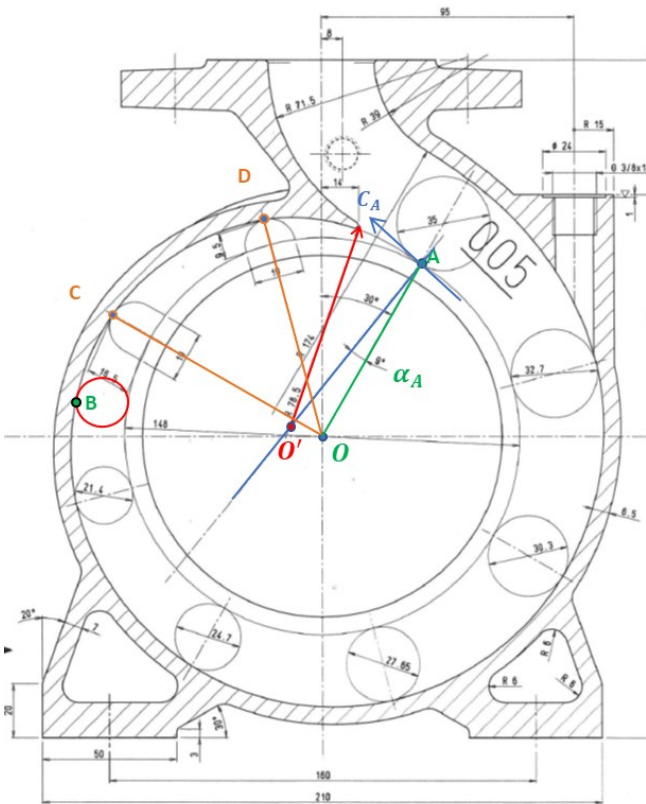
- Nella precedente non è stato inserito il rendimento volumetrico η_v perché si è oramai all'esterno della girante; si è inoltre ritenuto radiale lo sviluppo della voluta
- La componente tangenziale C_{uA} si ricava dalla conservazione del momento angolare poiché nel traferro tra il diametro esterno D_2 della girante e il diametro base D_3 della voluta non c'è niente che possa interagire con il fluido:

$$C_{uA} = \frac{R_2 C_{u2}}{r_0}$$



Tipologie di voluta

Sez. A-A



- L'angolo α_A della corrente assoluta sulla circonferenza base della voluta è data da:

$$\tan \alpha_A = \frac{C_{rA}}{C_{uA}} \rightarrow \alpha_A$$

- L'angolo α_A nell'esempio di Fig. a è stato valutato pari a 9°
- Il centro di curvatura O' dell'arco di circonferenza AB dovrà perciò trovarsi sull'ortogonale per A alla velocità C_A e rispettare la condizione che $O'A = O'B$

- Trovato il centro di curvatura O' , si traccia l'arco di circonferenza AB e si disegnano le direttrici radiali OC e OD con passo angolare $360/N_s$, dove N_s è il numero di sezioni che s'intende usare per costruire la voluta ($N_s = 8 \rightarrow \Delta\vartheta = 45^\circ$)



Söz. A-A

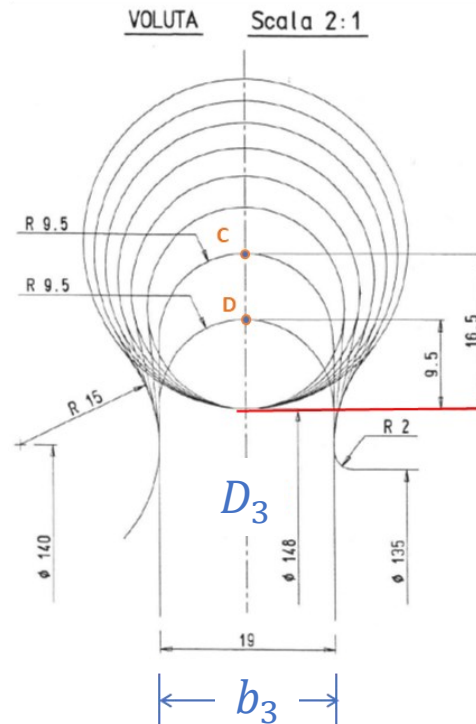
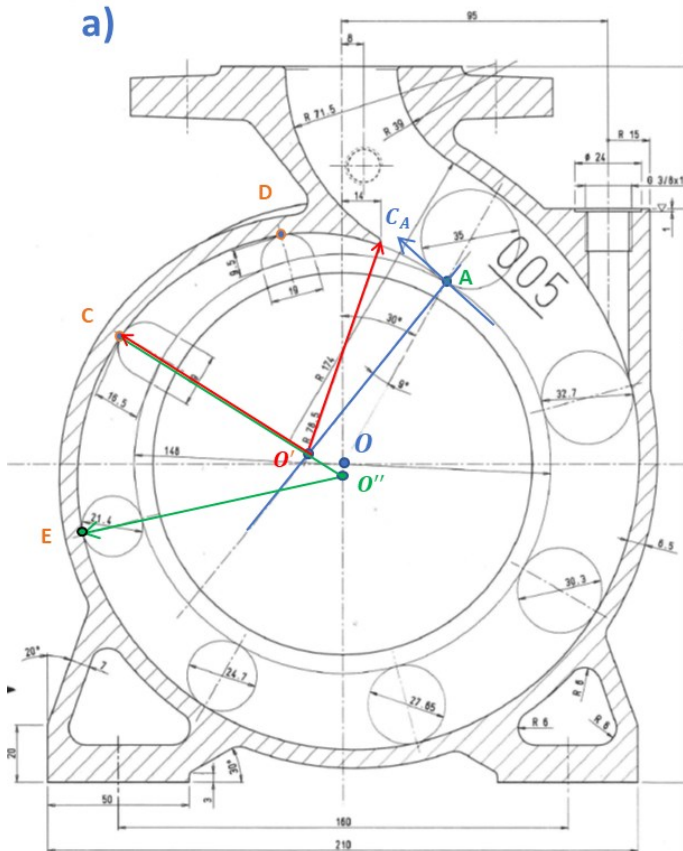


-

Tipologie di voluta

Sez. A-A

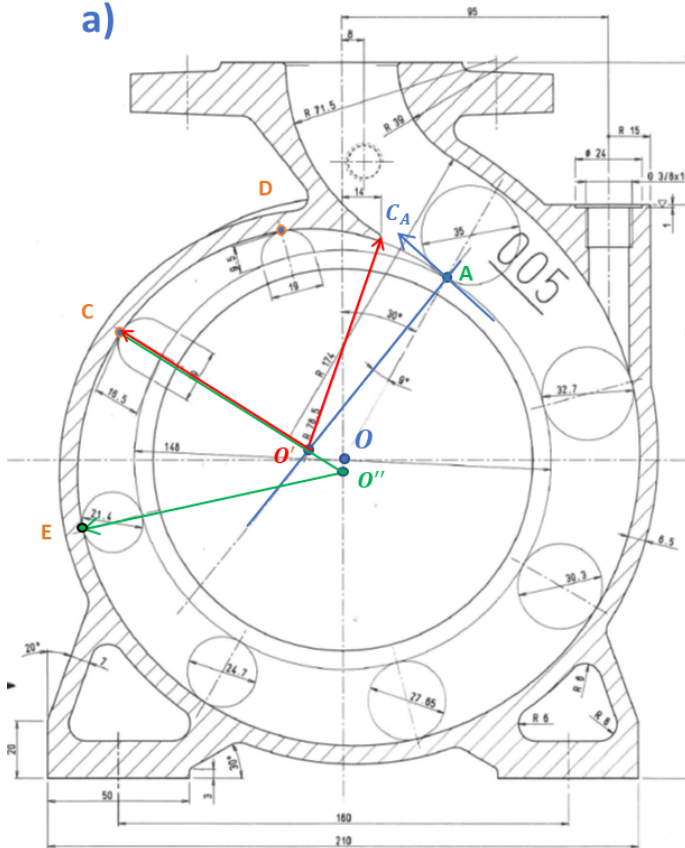
a)



- Si possono infine raccordare tra loro le altre sezioni trasversali della voluta con archi di cerchio AC , CE , etc. in modo da ottenere per la voluta un inviluppo di classe C^1
- A tal fine, prendendo a riferimento l'arco di circonferenza CE , è sufficiente trovare il centro di curvatura O'' sul prolungamento del raggio $O'C$ imponendo la condizione $O''C = O''E$
- Si procede in modo analogo per tutti gli altri settori della voluta

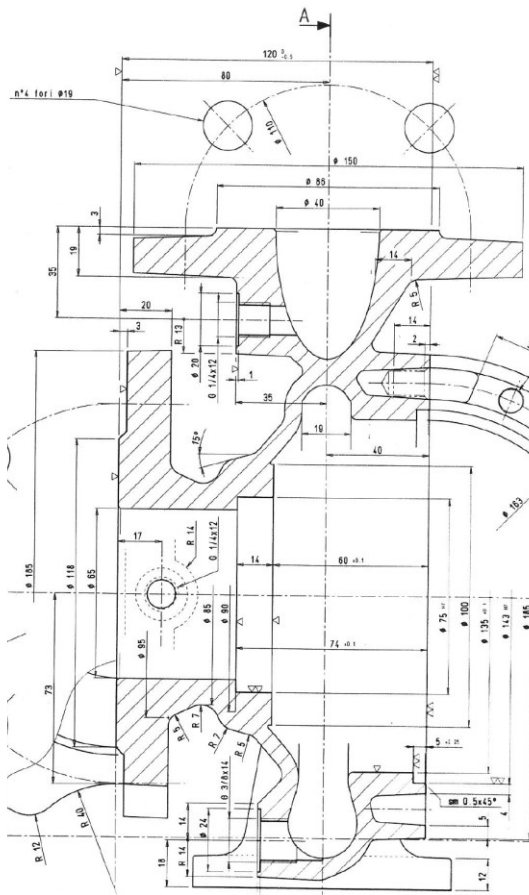


Söz. A-A

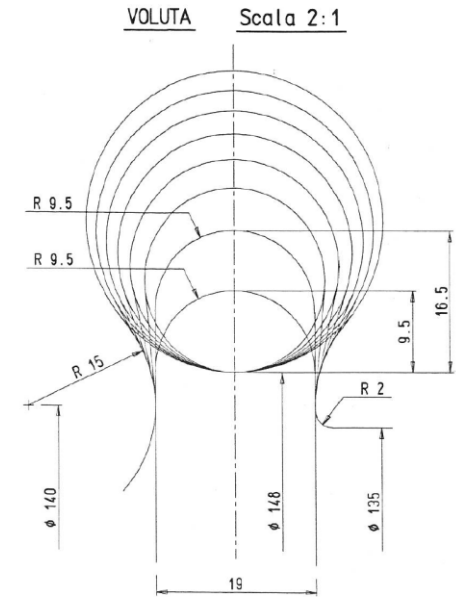
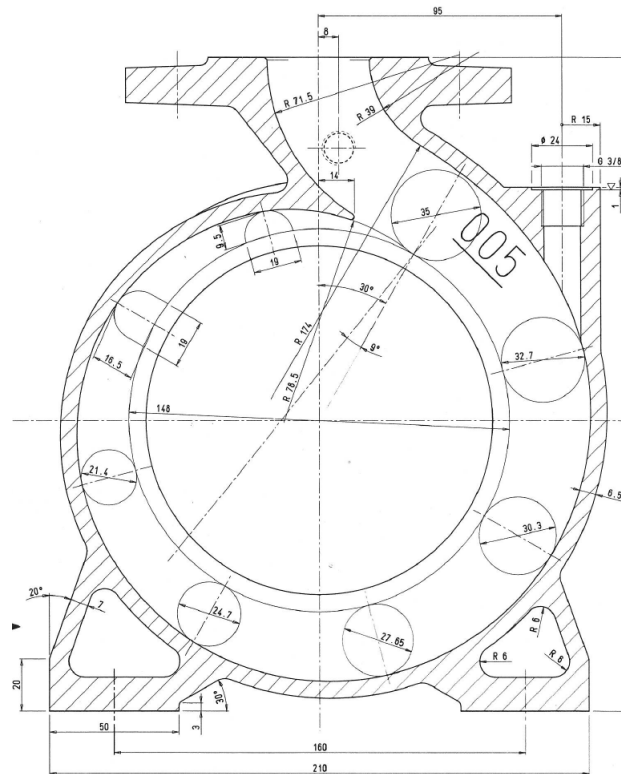


-

Tipologie di voluta



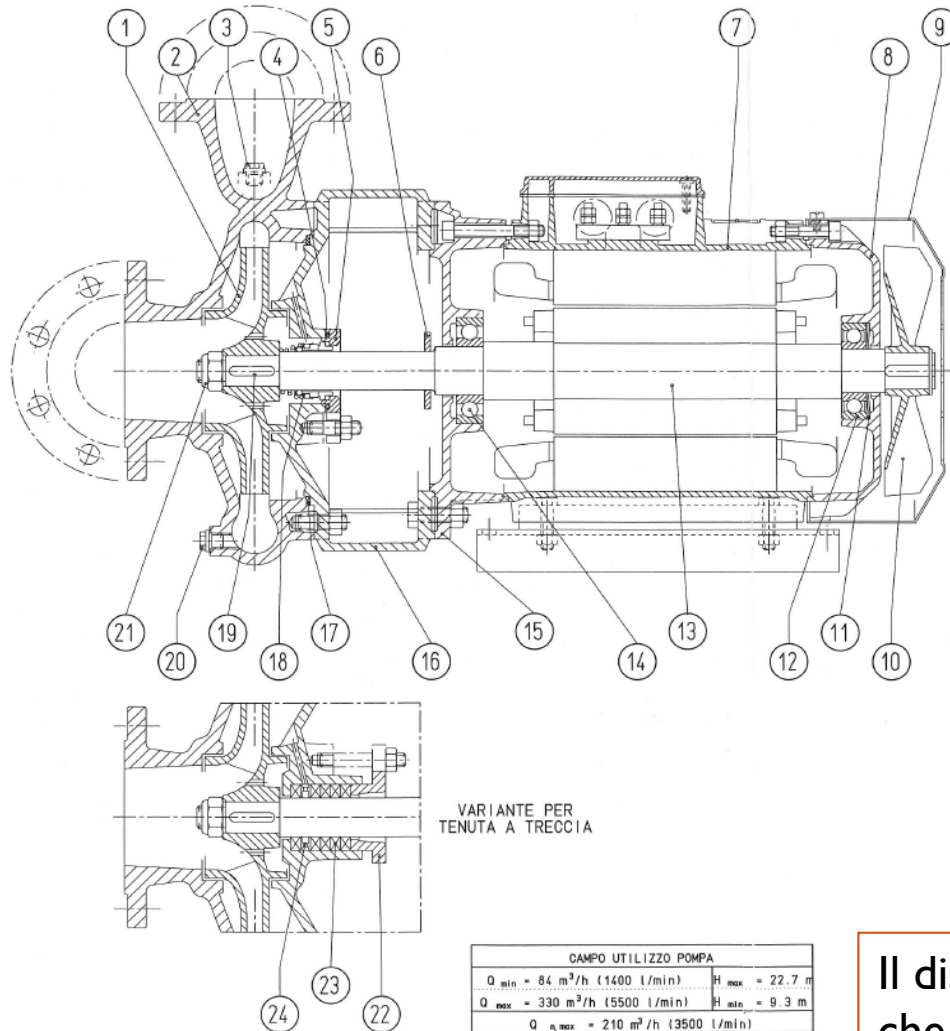
SEZ A-A





Disegno d'assieme

Disegno d'assieme



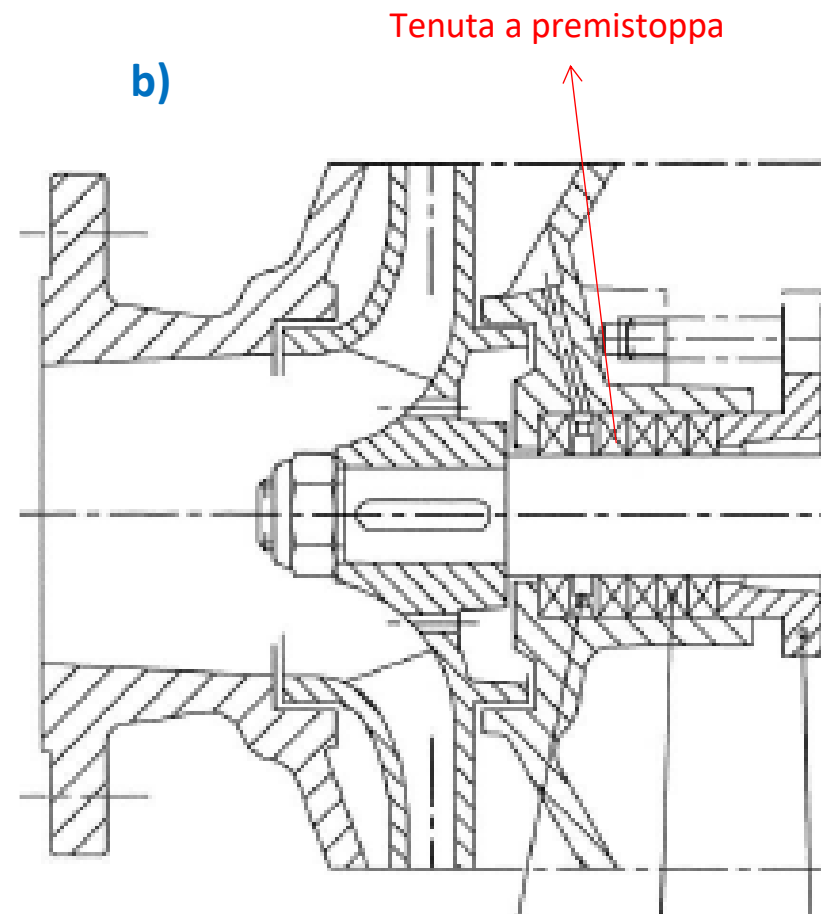
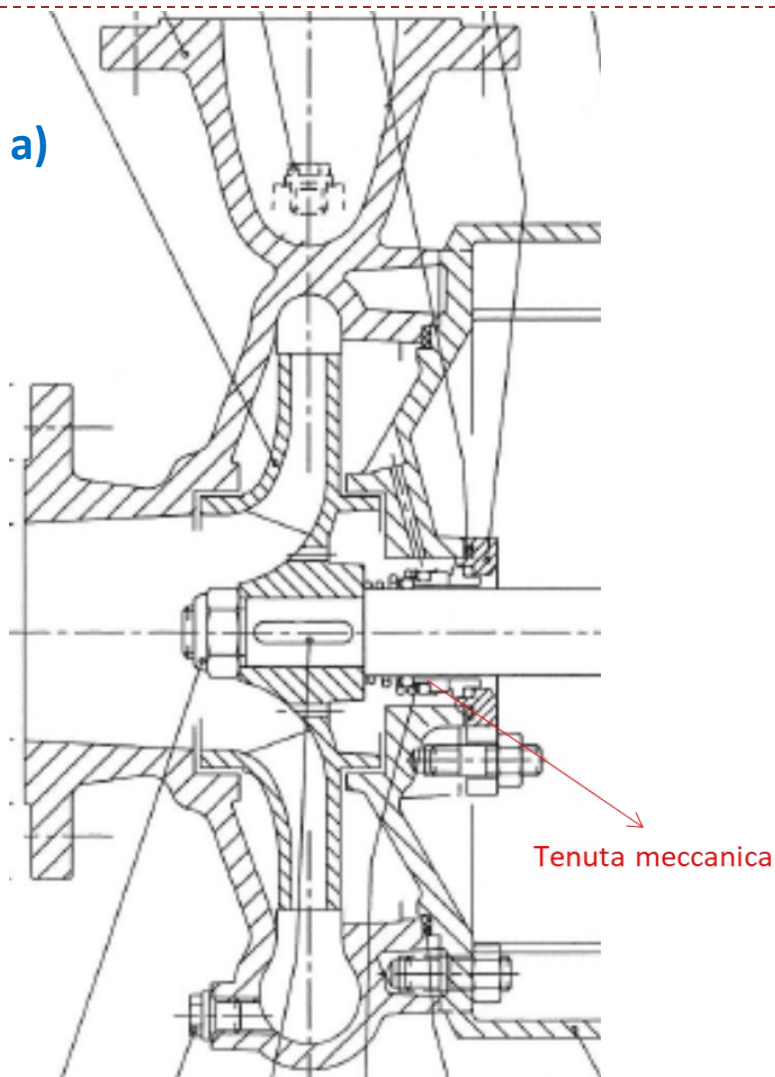
RIF.	COMPONENTE
1	Girante (diametro pieno $D_2 = 271 \text{ mm}$)
2	Corpo pompa con bocche flangiate
3	Tappo foro di carico
4	O-ring coperchio tenuta
5	Coperchio tenuta meccanica
6	Anello paraspruzzi
7	Carcassa motore con avvolgimento
8	Coperchio motore lato ventola
9	Calotta protezione ventola
10	Ventola di raffreddamento motore
11	Molla di compensazione
12	Cuscinetto lato ventola
13	Albero con pacco rotore
14	Cuscinetto lato pompa
15	Coperchio motore lato pompa
16	Lanterna di raccordo e coperchio del corpo
17	Guarnizione corpo
18	Tenuta meccanica
19	Linguetta bloccaggio girante
20	Tappo foro di scarico
21	Dado bloccaggio girante
22	Premitreccia
23	Tenuta a treccia
24	Anello lanterna per tenuta a treccia

COMPONENTE	MATERIALE
Corpo pompa e lanterna di raccordo	Ghisa 200 ISO 185
Girante	Ghisa 200 ISO 185
Albero	Acciaio al Cr (AISI 430)
Tenuta meccanica	Carbone - Ceramica - NBR

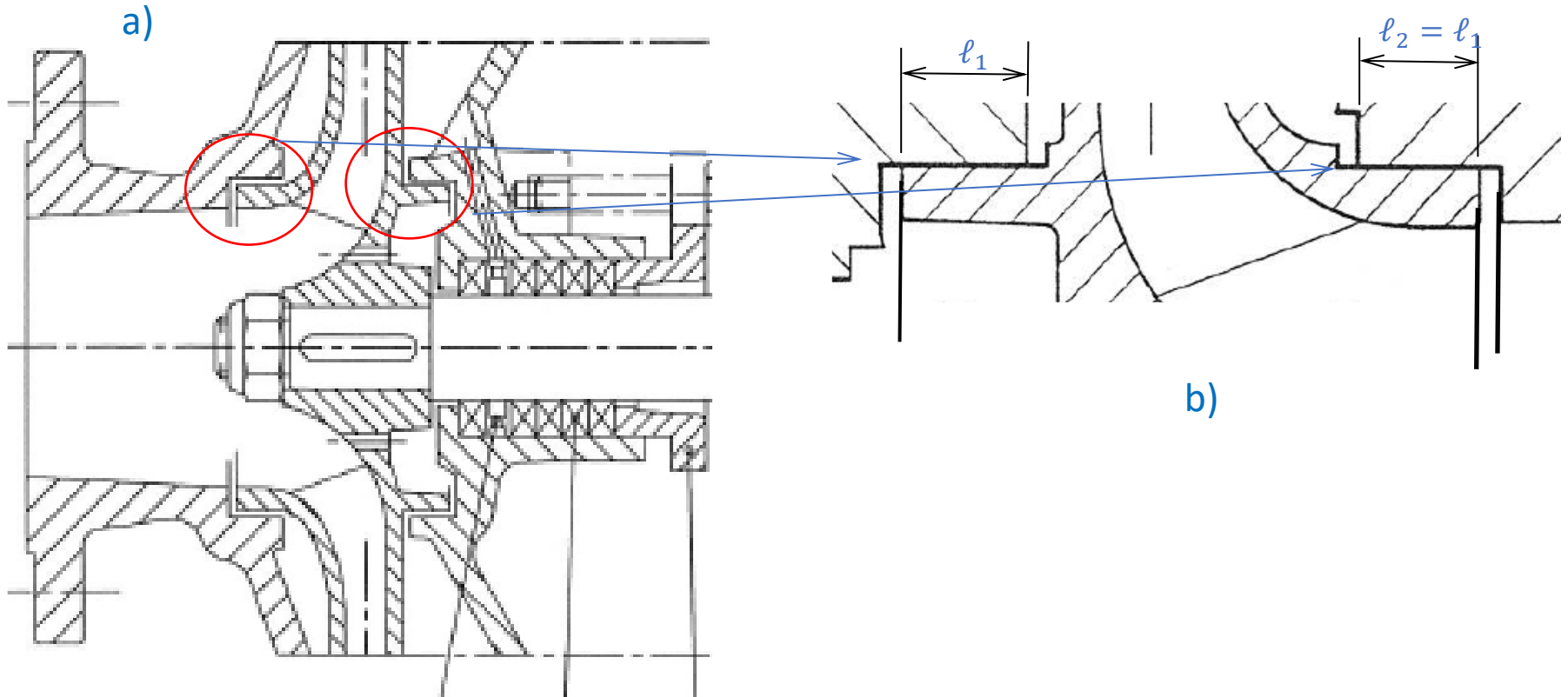
Il disegno d'assieme è il terzo disegno che accompagna il progetto



Disegno d'assieme



Disegno d'assieme



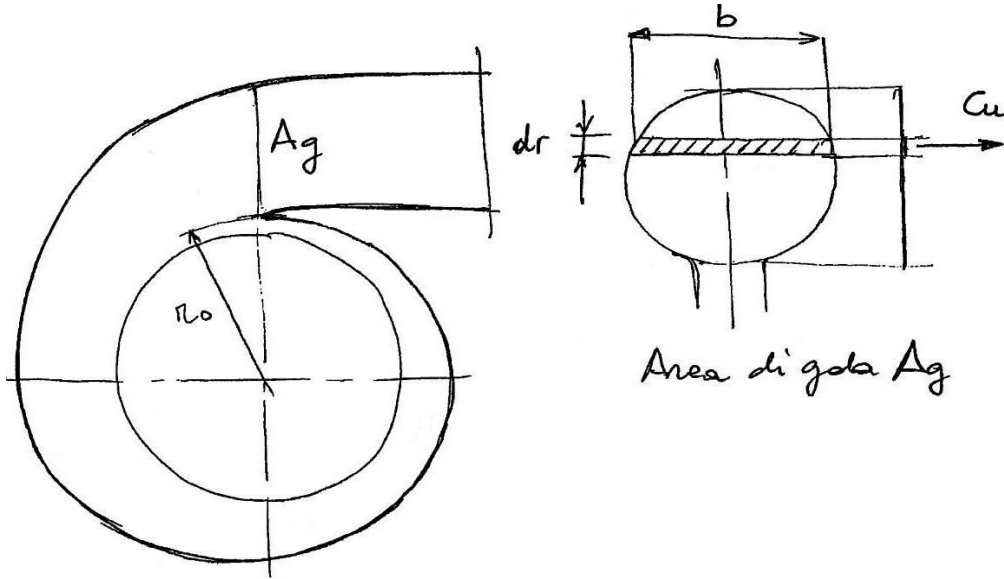
- Lo spessore del meato di trafilamento è dell'ordine di $0.2 \div 0.3 \text{ mm}$: non si nota nel disegno d'assieme!

⇒ Nell'eseguire il disegno d'assieme, fare riferimento all'esempio di Fig. b

Interazione girante-voluta

Note integrative

Interazione girante-voluta

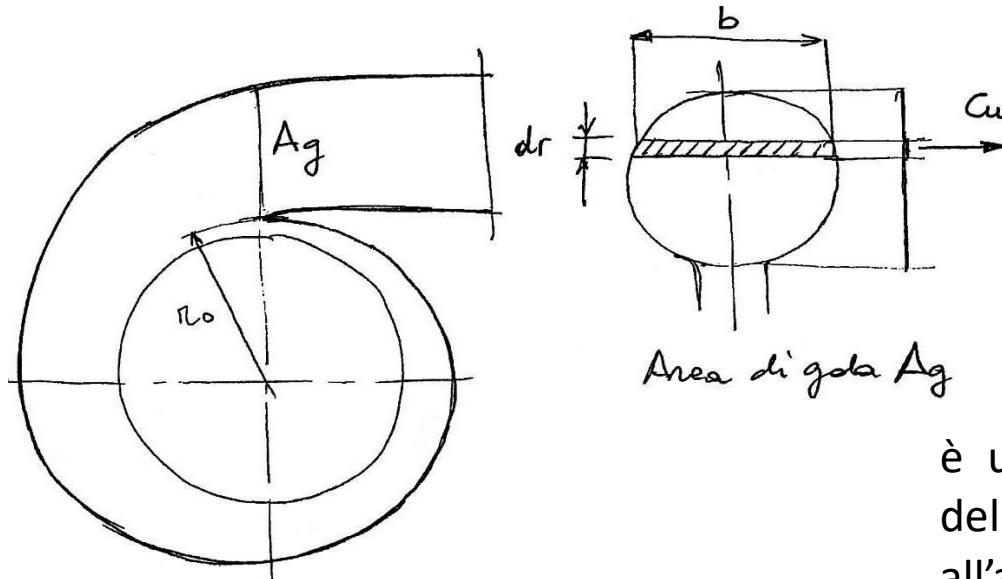


- La forma della curva caratteristica di una pompa può essere sensibilmente influenzata dalla geometria della voluta
- Lungo il canale spiraliforme della voluta sia $rC_u = \text{cost}$, e sulla sezione di gola A_g si raccolga tutta la portata Q_v elaborata dalla girante

- Con riferimento alla sezione di gola A_g si può dunque scrivere:

$$Q_v = \int_{r_0}^{r_{\theta=2\pi}} b C_u dr = \int_{r_0}^{r_{\theta=2\pi}} r C_u \frac{b}{r} dr = r_2 C_{u_2} \int_{r_0}^{r_{\theta=2\pi}} \frac{b}{r} dr = r_2 C_{u_2} k_v$$

Interazione girante-voluta



$$Q_v = r_2 C_{u_2} \int_{r_0}^{r_{\theta=2\pi}} \frac{b}{r} dr = r_2 C_{u_2} k_v$$

$$k_v = \int_{r_0}^{r_{\theta=2\pi}} \frac{b}{r} dr$$

è una costante che dipende dalla **geometria** della sezione di gola A_g della voluta e **aumenta** all'aumentare delle sue dimensioni

- Dall'equazione della portata Q_v si ottiene:

$$C_{u_2} = \frac{Q_v}{k_v r_2} = \frac{Q_v}{2\pi b_2 r_2} \frac{2\pi b_2}{k_v} = C_{m_2} \frac{2\pi b_2}{k_v}$$

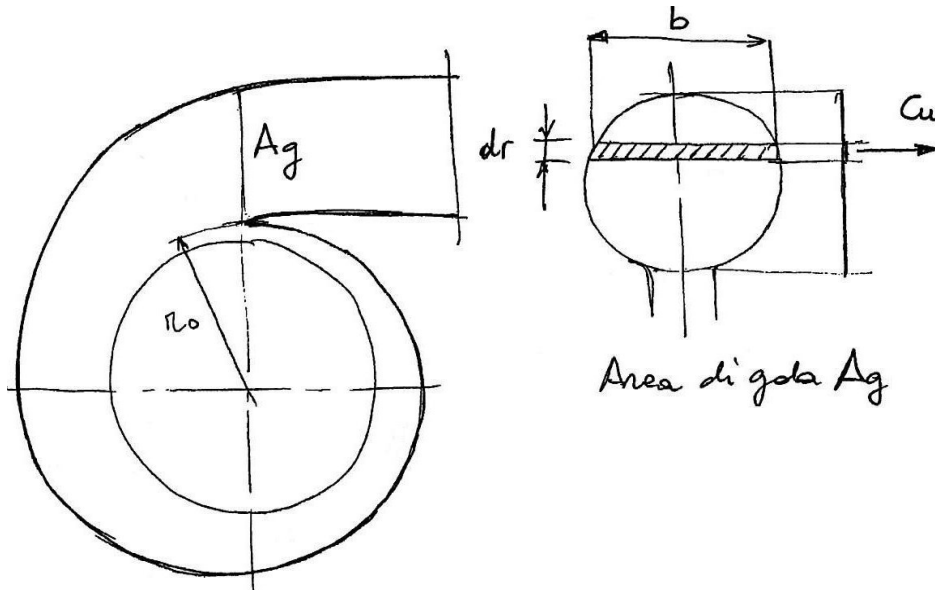
- Ne deriva la seguente espressione per il numero di pressione ψ_v :

$$\psi_v = \frac{C_{u_2}}{U_2} = \frac{C_{m_2}}{U_2} \frac{2\pi b_2}{k_v} = \phi \frac{2\pi b_2}{k_v}$$

richiesto dalla voluta affinché il convogliamento della portata al suo interno avvenga **conservando** il momento angolare rC_u della quantità di moto



Interazione girante-voluta



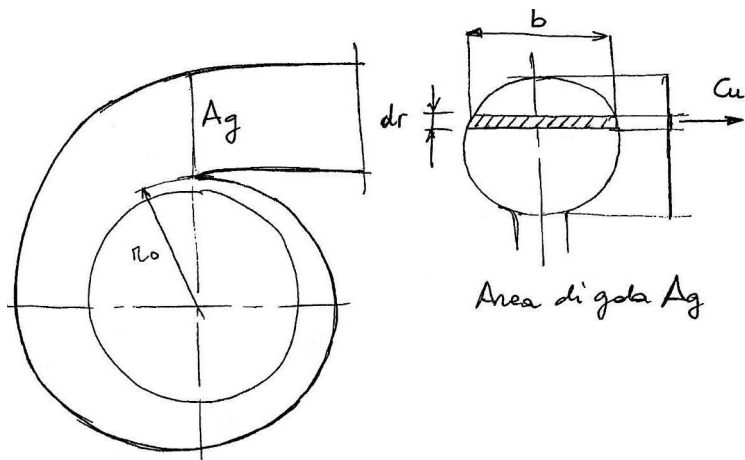
$$\psi_v = \frac{C_{u_2}}{U_2} = \frac{C_{m_2}}{U_2} \frac{2 \pi b_2}{k_v} = \phi \frac{2 \pi b_2}{k_v}$$

Dipende dalla portata Q_v

Dipende dalla geometria della voluta

- ⇒ Per un dato valore di $\bar{\phi}$ (portata Q_v) e per una data geometria della voluta k_v , il numero di pressione ψ_v dà il rapporto C_{u_2}/U_2 che deve produrre la girante affinché le traiettorie delle particelle fluide all'uscita della girante si sposino con il contorno solido della voluta
- ⇒ **Assenza** di **perdite** per brusca deviazione all'ingresso e lungo lo sviluppo spiraliforme della voluta

Interazione girante-voluta

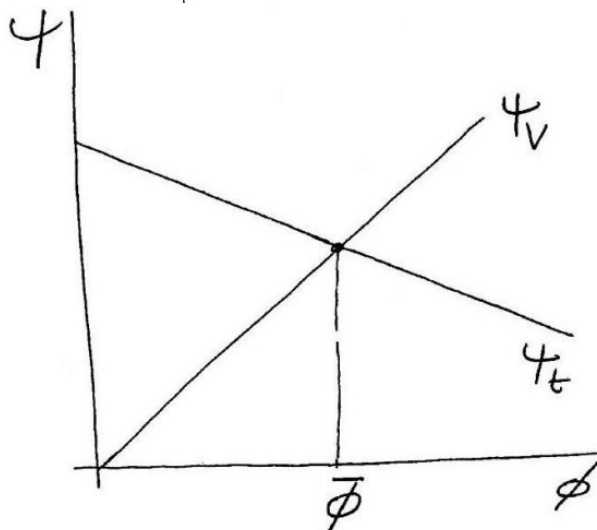


$$\psi_v = \frac{C_{u2}}{U_2} = \frac{C_{m2}}{U_2} \frac{2\pi b_2}{k_v} = \phi \frac{2\pi b_2}{k_v}$$

- Per la girante, invece, si ha:

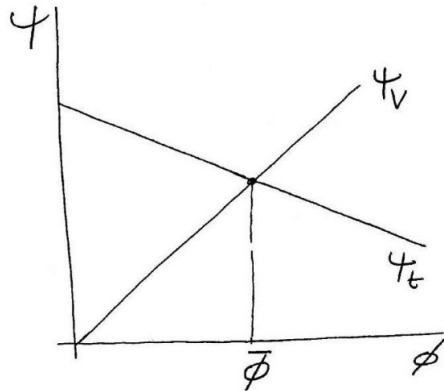
$$\psi_t = \frac{C_{u2}}{U_2} = 1 - \frac{U_{s2}}{U_2} - \frac{\phi}{\eta_v \xi_2} \cot \beta_{2b}$$

- L'intersezione delle due rette ψ_v e ψ_t fornisce il numero di flusso $\bar{\phi}$ (e quindi la portata Q_v) per il quale sono minime le perdite per incidenza all'ingresso della voluta



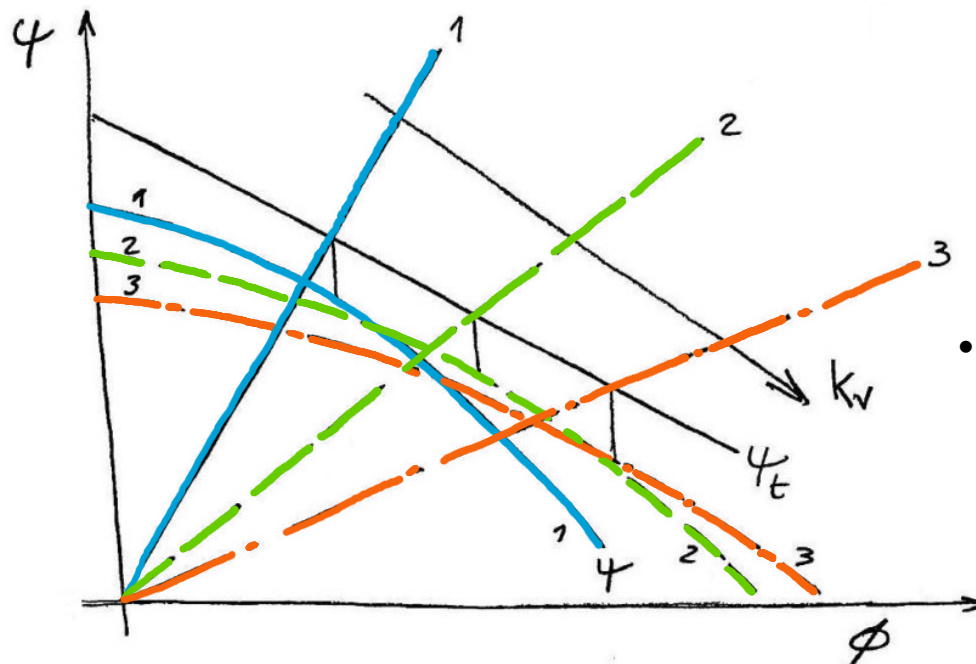
Andamenti di ψ_v e ψ_t

Interazione girante-voluta



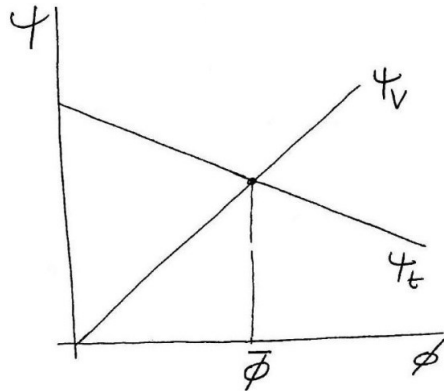
$$\psi_v = \frac{C_{u_2}}{U_2} = \frac{C_{m_2}}{U_2} \frac{2\pi b_2}{k_v} = \phi \frac{2\pi b_2}{k_v}$$

$$\psi_t = \frac{C_{u_2}}{U_2} = 1 - \frac{U_{s_2}}{U_2} - \frac{\phi}{\eta_v \xi_2} \cot \beta_{2b}$$



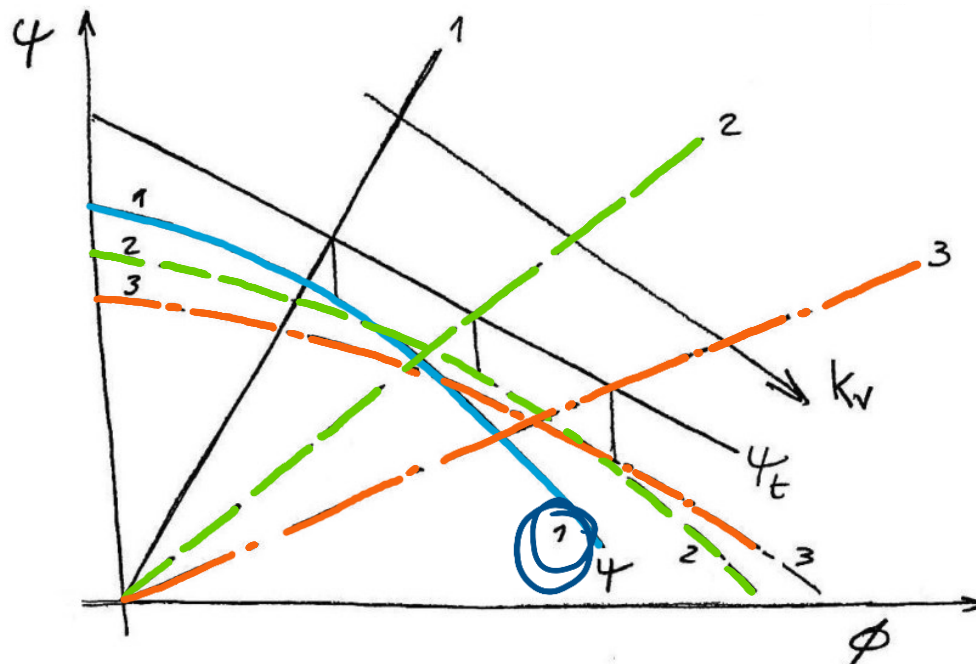
- La medesima girante può essere alloggiata in volute di dimensioni differenti. In questi casi, l'accoppiamento ottimale girante - voluta si ottiene per **portate differenti**, che aumentano all'aumentare delle dimensioni della voluta
- Nonostante la girante sia la stessa, la forma della curva caratteristica $\psi = f(\phi)$, e quindi $h = f(Q_v)$, cambia sensibilmente

Interazione girante-voluta



$$\psi_v = \frac{C_{u_2}}{U_2} = \frac{C_{m_2}}{U_2} \frac{2 \pi b_2}{k_v} = \phi \frac{2 \pi b_2}{k_v}$$

$$\psi_t = \frac{C_{u_2}}{U_2} = 1 - \frac{U_{s_2}}{U_2} - \frac{\phi}{\eta_v \xi_2} \cot \beta_{2b}$$



- La curva caratteristica $h - Q$ “corta” copre un minor intervallo di portate a causa delle piccole dimensioni della voluta (modeste sezioni di gola A_g)
- Si **apre**, invece, all'**aumentare** delle **dimensioni** della voluta, consentendo un campo di impiego più ampio (la curva caratteristica è però meno ripida rispetto al caso precedente)

Domande, Curiosità, Dubbi, Perplessità?

