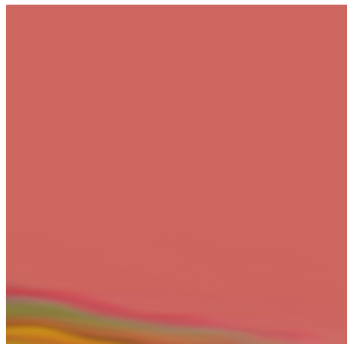
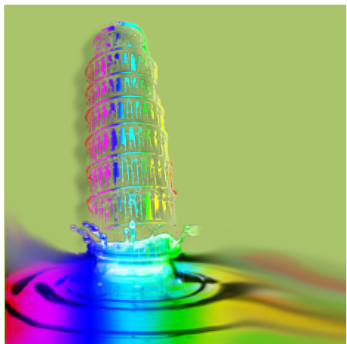
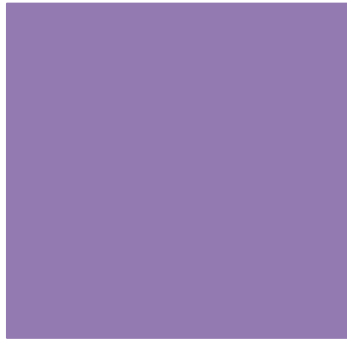




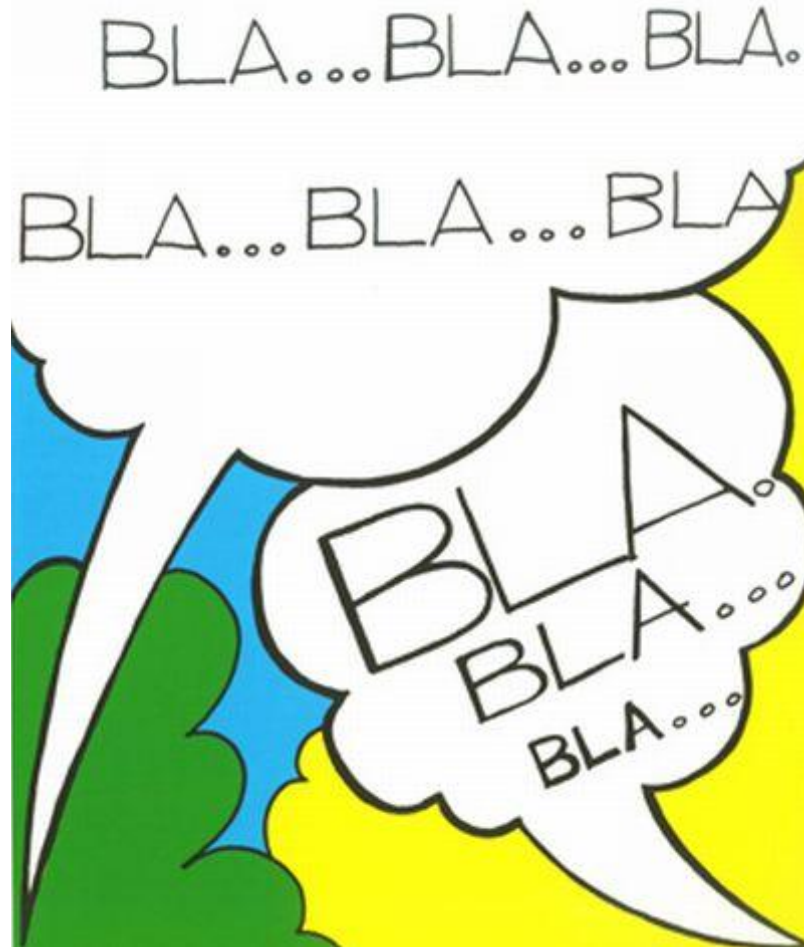
# Protesi fonatorie



[carmelo.demaria@centropiaggio.unipi.it](mailto:carmelo.demaria@centropiaggio.unipi.it)

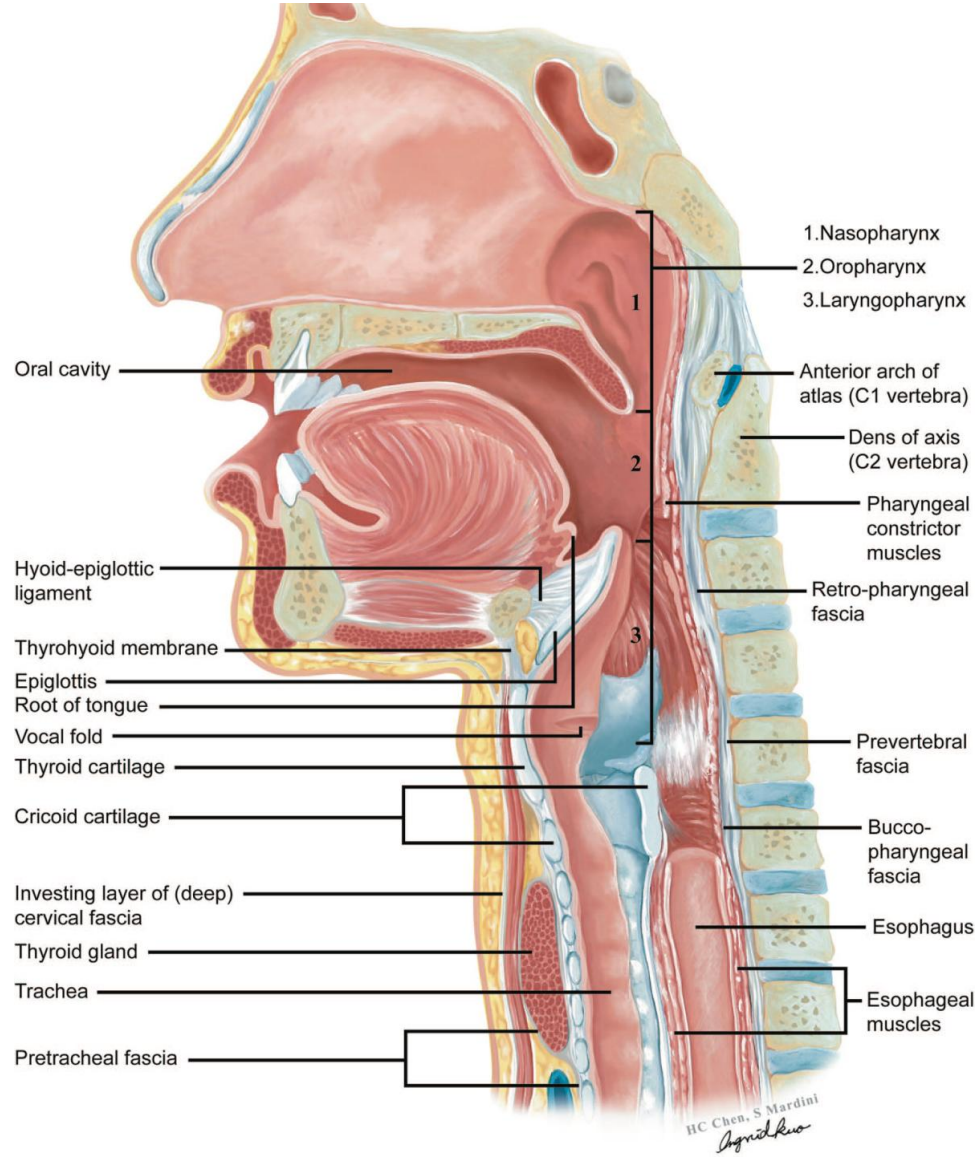
+

# Fisiologia della fonazione



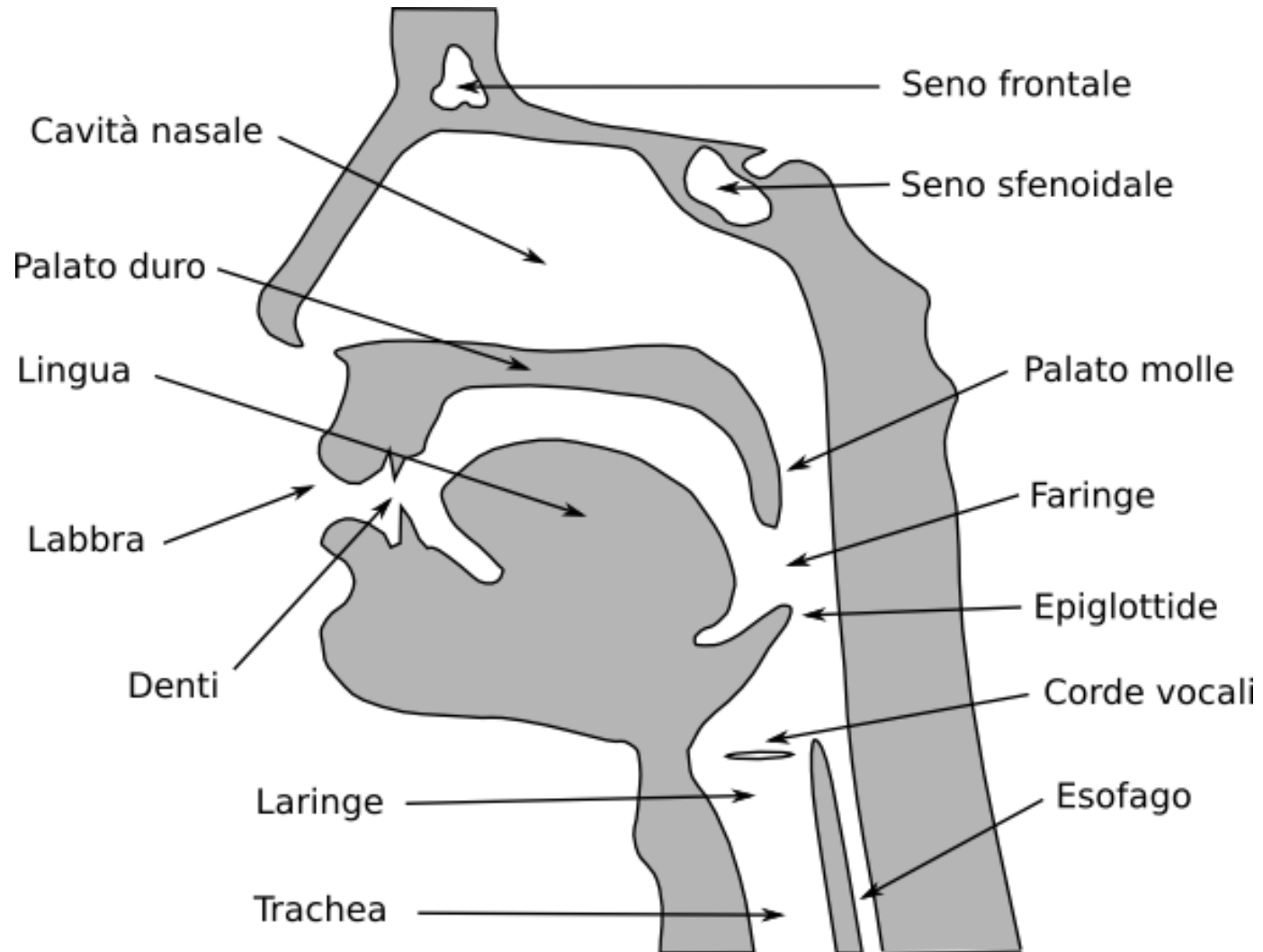


# Fisiologia della fonazione



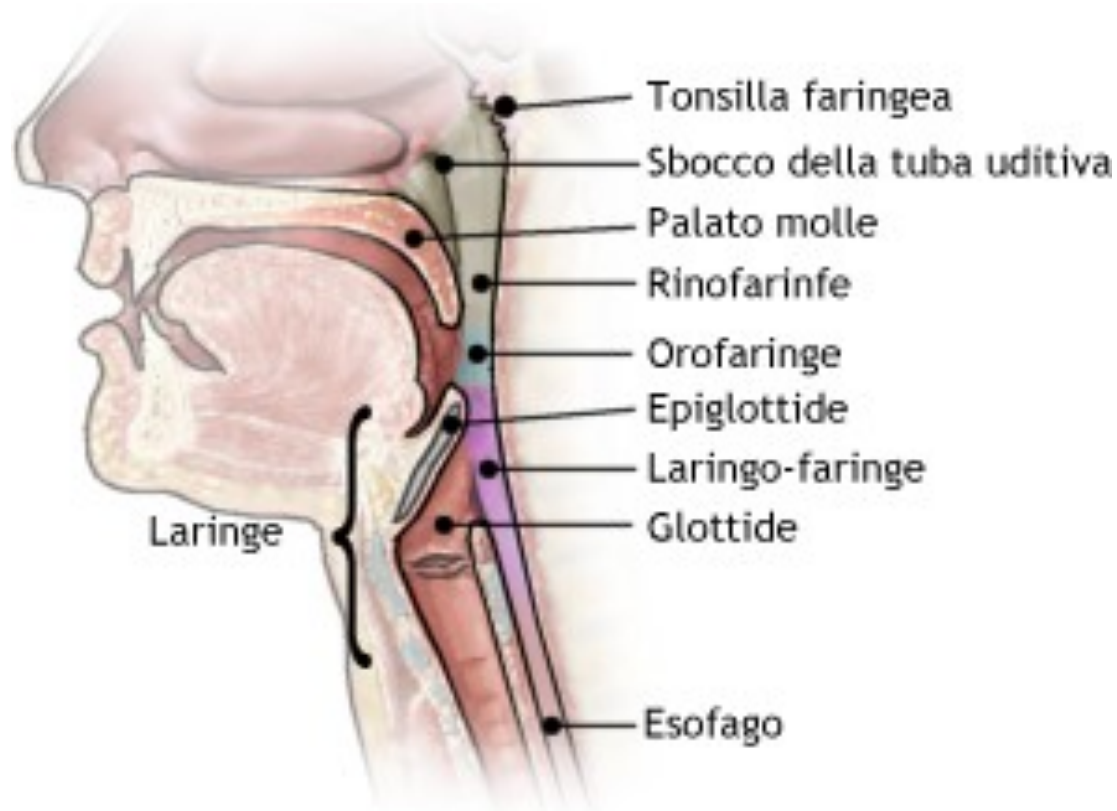


# Fisiologia della fonazione





# Fisiologia della fonazione





# La Laringe



Nella laringe si possono individuare tre porzioni:

- **porzione sovraglottica** corrispondente alla parte superiore; è la parte più ricca di vasi linfatici che confluiscono nelle ghiandole linfatiche del collo, dette anche linfonodi, e comprende anche l'epiglottide, una piccola cartilagine;
- **glottide**, ovvero porzione glottica, la parte centrale in cui sono localizzate le corde vocali;
- **porzione sottoglottica** corrispondente alla parte che immette nella trachea.

Il volume della laringe varia in rapporto con l'età ed è più grande negli uomini rispetto alle donne. Queste variazioni di volume spiegano la differenza di voce che si ha nelle varie fasi della crescita e nei maschi rispetto alle femmine. La laringe ha le seguenti funzioni:

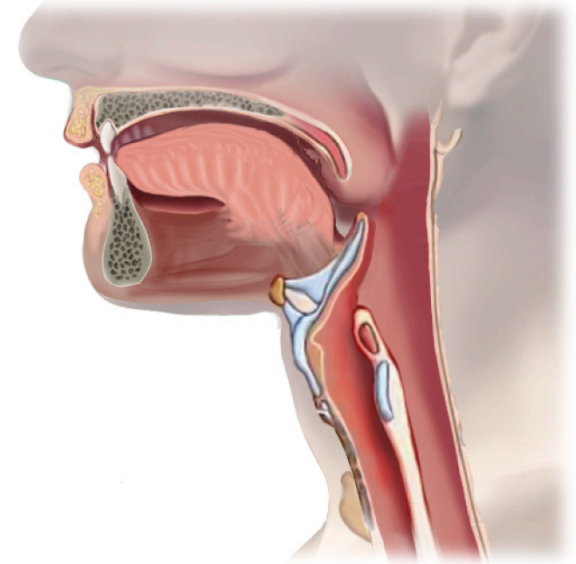
- **attività protettiva:** consiste nel cercare di impedire l'ingresso di corpi estranei in trachea attraverso l'epiglottide, che funge da 'coperchio', la contrazione delle corde vocali, che chiudono il canale respiratorio, e il meccanismo della tosse;
- **attività respiratoria:** assicura il passaggio dell'aria dalla cavità orale alla trachea e, quindi, al polmone;
- **attività fonatoria:** consiste nella creazione dei suoni attraverso le vibrazioni sonore provocate da movimenti di apertura e chiusura della glottide. La modulazione del suono avviene grazie alle strutture muscolari della laringe e alla loro innervazione.



# Fisiologia della fonazione



- Il suono viene prodotto durante l'espirazione a livello della laringe come un tono di fondo, poi viene convertito in parola grazie all'azione di lingua, palato, labbra, denti, faringe e strutture correlate e amplificato sfruttando come casse di risonanza la cavità paranasale, orale e faringea.
- Le molecole d'aria dai polmoni passano attraverso le corde vocali, lembi tendinei situati nella laringe, che aprendosi e chiudendosi in rapidi cicli consentono all'aria di uscire nel tratto vocale sopraglottideo sotto forma di onde sonore periodiche che possono essere udite come voce.

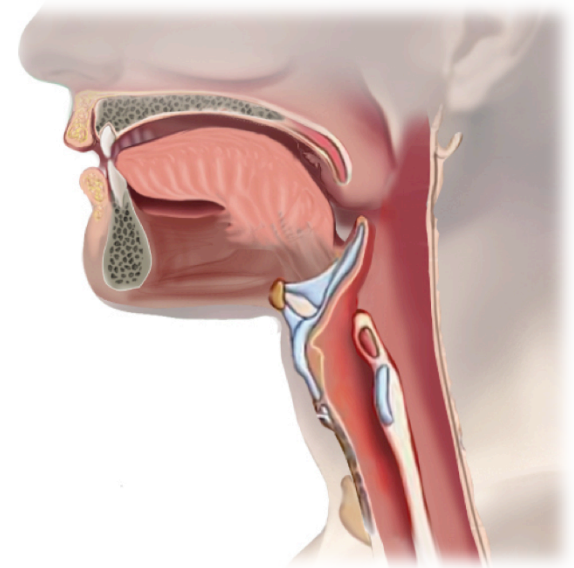




# Fisiologia della fonazione



- All'inizio della fonazione le corde vocali (o pliche vocali) sono chiuse, successivamente la pressione subglottidea aumenta e vince la resistenza, quindi le pliche vengono separate provocando un incremento del flusso dell'aria nella glottide.
- Quando il flusso d'aria diminuisce, la pressione cala e le corde vocali si riuniscono grazie all'elasticità del tessuto di cui sono composte.
- Tanto è maggiore la velocità con cui si alternano le rarefazioni e le compressioni dell'aria nei dintorni della glottide tanto più acuta risulta la voce, mentre il volume del suono è determinato dall'ampiezza del movimento delle corde stesse.

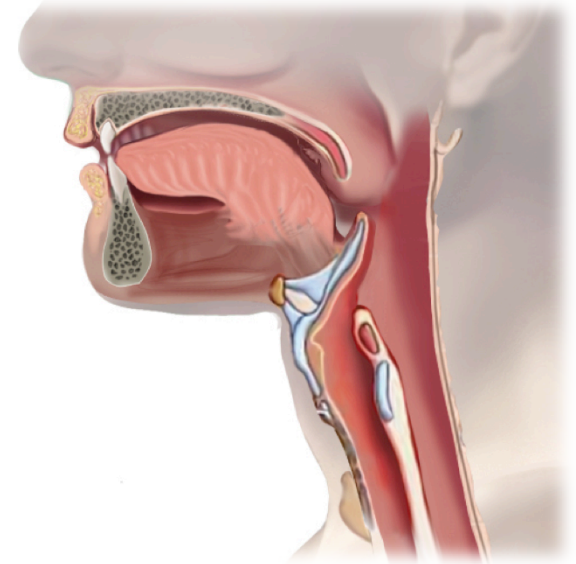






# Fisiologia della fonazione

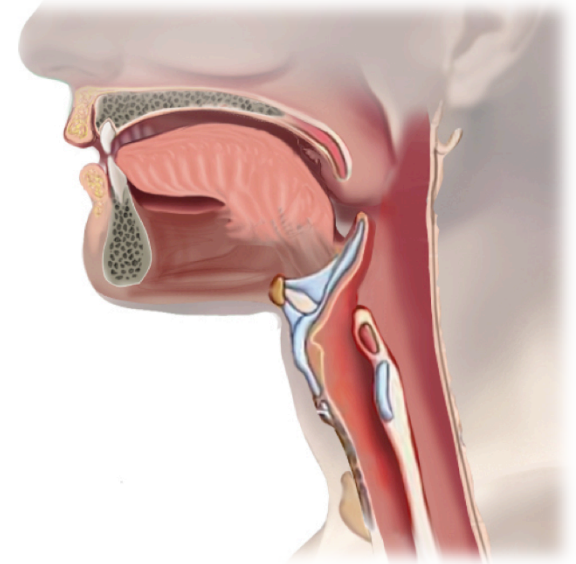
- La normale ventilazione richiede movimenti ritmici della gabbia toracica prodotta dai muscoli intercostali, dal diaframma e da una serie di muscoli accessori situati nel collo, nell'arto superiore e nell'addome.
- Il torace è in grado di rispondere a richieste di ossigeno molto variabili: da un volume corrente a riposo di 500 ml con frequenza respiratoria di 12 atti/min, la ventilazione può aumentare a un volume corrente di 4,5 l con frequenza respiratoria di 20/25 atti/min.
- La principale sorgente di energia per la produzione dei suoni del linguaggio parlato è l'espirazione polmonare.





# Fisiologia della fonazione

- Per rendere possibile l'eloquio la pressione sottoglottica, cioè la differenza tra la pressione dell'aria al di sopra e al di sotto delle pliche vocali, deve essere superiore a un livello minimo di 7 cmH<sub>2</sub>O per tutta la durata dell'articolazione.
- La pressione aumenta quando vengono prodotti suoni di elevata intensità e si abbassa durante la produzione di suoni sordi, tuttavia durante la normale fonazione oscilla tra 5 e 10 cmH<sub>2</sub>O.
- Per generare una pressione sottoglottica sufficiente all'inizio della fonazione l'inspirazione è di 1,5 l, cioè più profonda di quella che avviene nella ventilazione normale, e dura circa 0,5 sec contro i 2-3 sec della normale inspirazione durante la ventilazione.

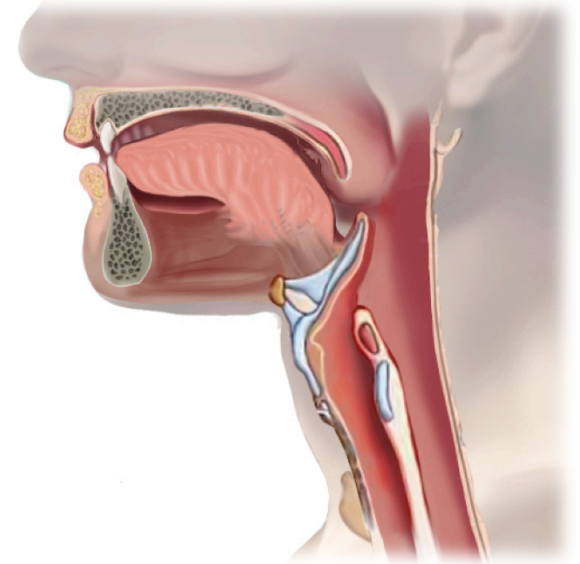




# Fisiologia della fonazione

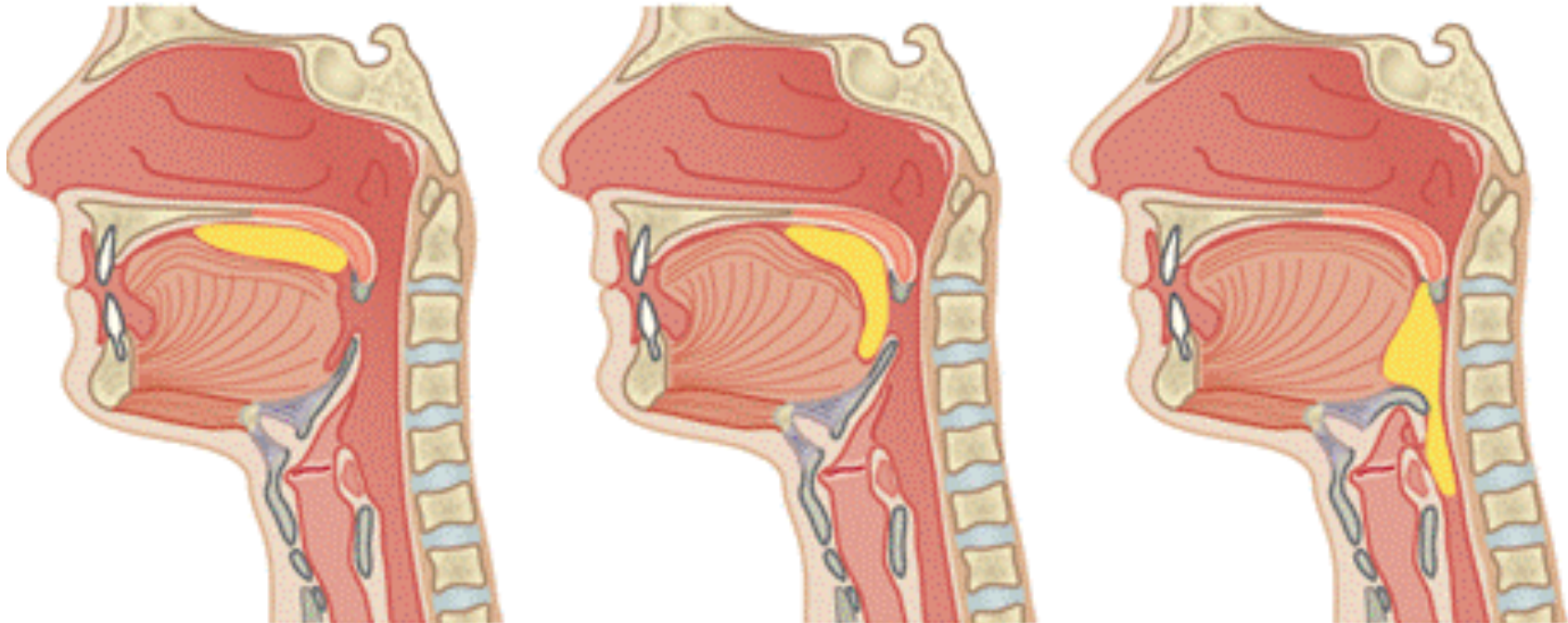


- L'espirazione, invece, è di durata maggiore del normale, arrivando talvolta a 30 sec perché il tratto vocale a livello della laringe è più ristretto.
- Una conversazione richiede normalmente un livello di capacità polmonare maggiore di quello necessario per la normale ventilazione, questo determina un maggiore accumulo di forze elastiche di ritorno di polmoni e gabbia toracica. La pressione sottoglottica è il prodotto di queste forze elastiche e di quelle muscolari generate dai muscoli espiratori.



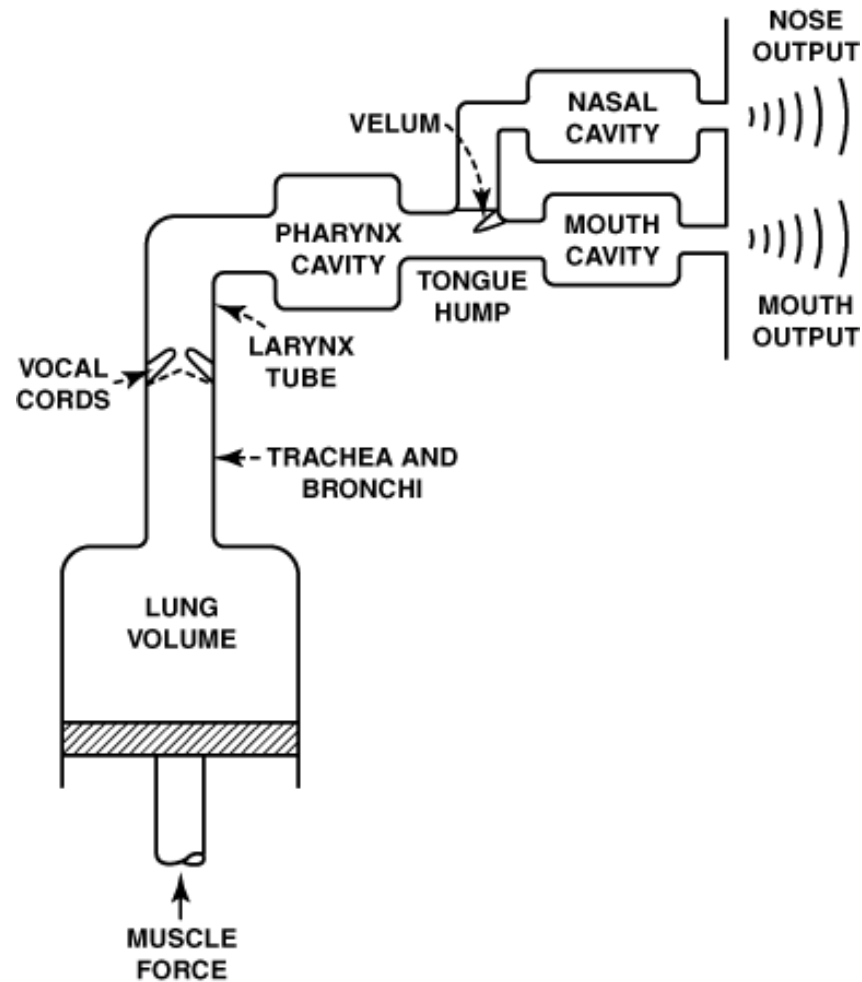
+

# Fisiologia della deglutizione



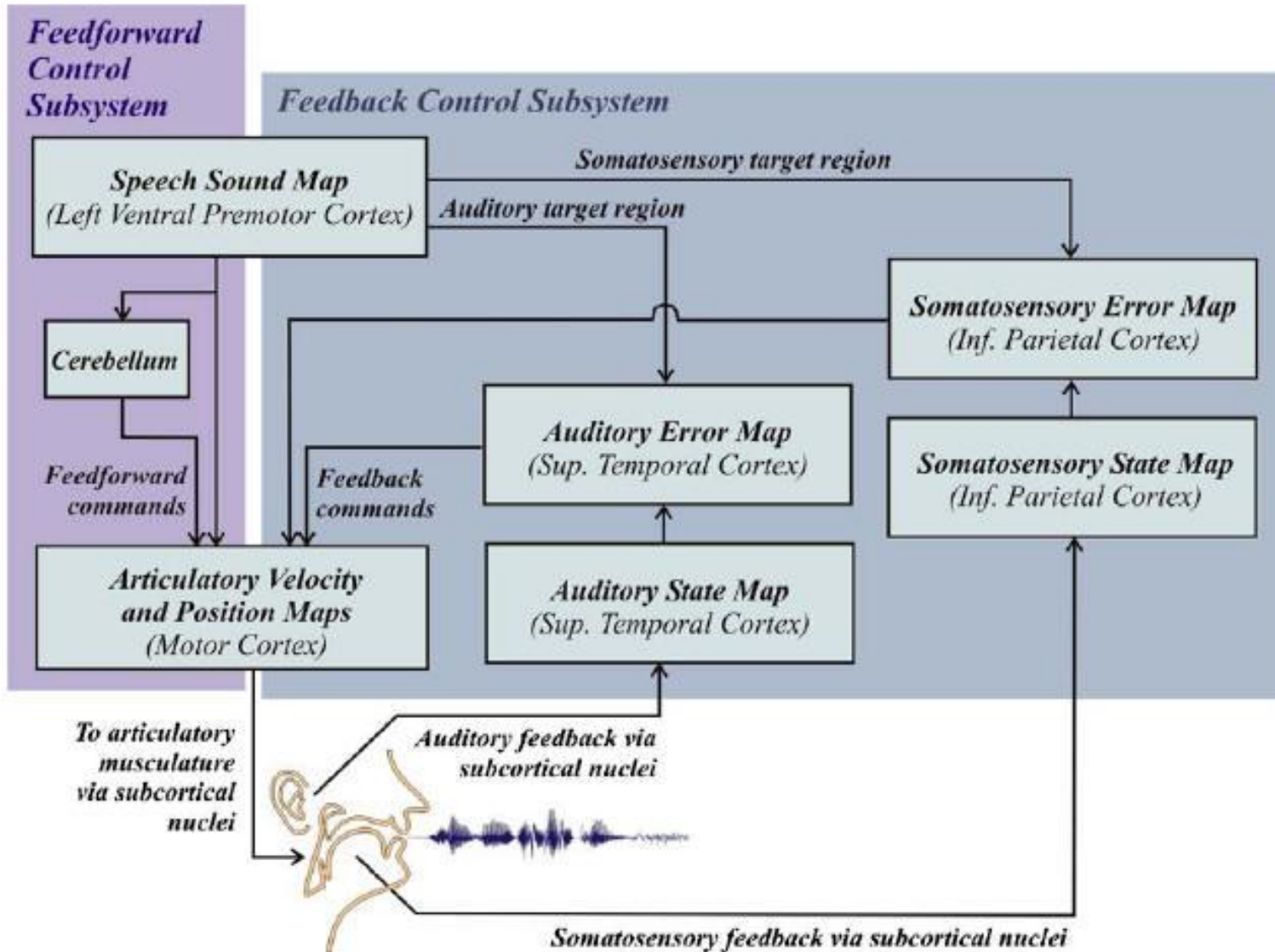
+

# Schema funzionale della fonazione



+

# Il controllo della fonazione



+

# Come si perde la voce?

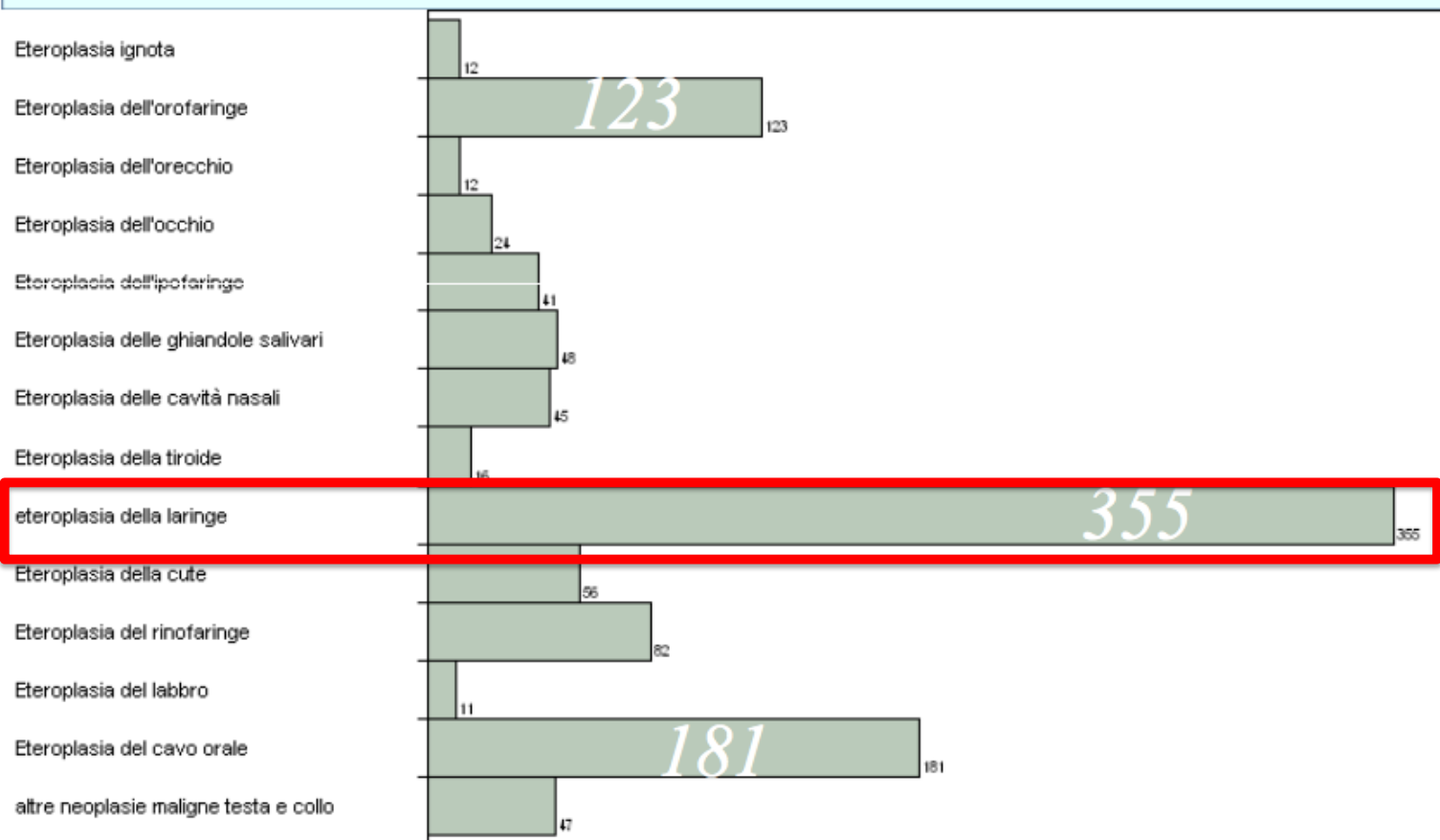




# Eteroplasia della laringe



**Da ottobre 2005 a novembre 2010 sono stati valutati collegialmente 1053 pazienti con neoplasia della testa e del collo.**







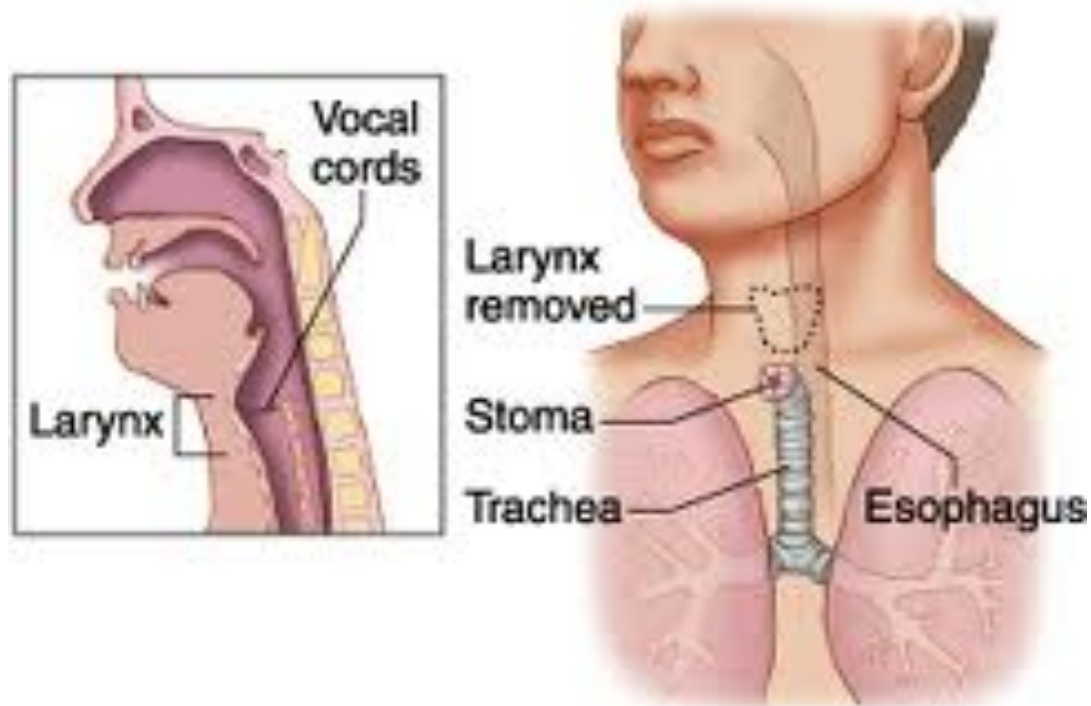
# Laringectomia totale



- La laringectomia totale o laringofaringectomia è una tecnica chirurgica utilizzata per la prima volta nel 1873 da Billroth, prevede l'asportazione di tutto l'organo della voce e dell'osso ioide con conseguente unione del moncone tracheale sottostante direttamente nella regione cervicale a livello del giugulo e creazione così di una tracheostomia permanente.
- L'operazione è effettuata attraverso un'incisione cutanea a forma di "U" che parte dalla regione retroauricolare bilateralmente passando per il giugulo.
- L'intervento implica la ricostruzione del tratto faringo-esofageo unendo tra loro le parti restanti del muscolo tiro-faringeo costringitore e collegandole ai muscoli sopraioidei, in modo da creare un segmento faringo-esofageo tonico e un tratto faringeo in grado di vibrare.

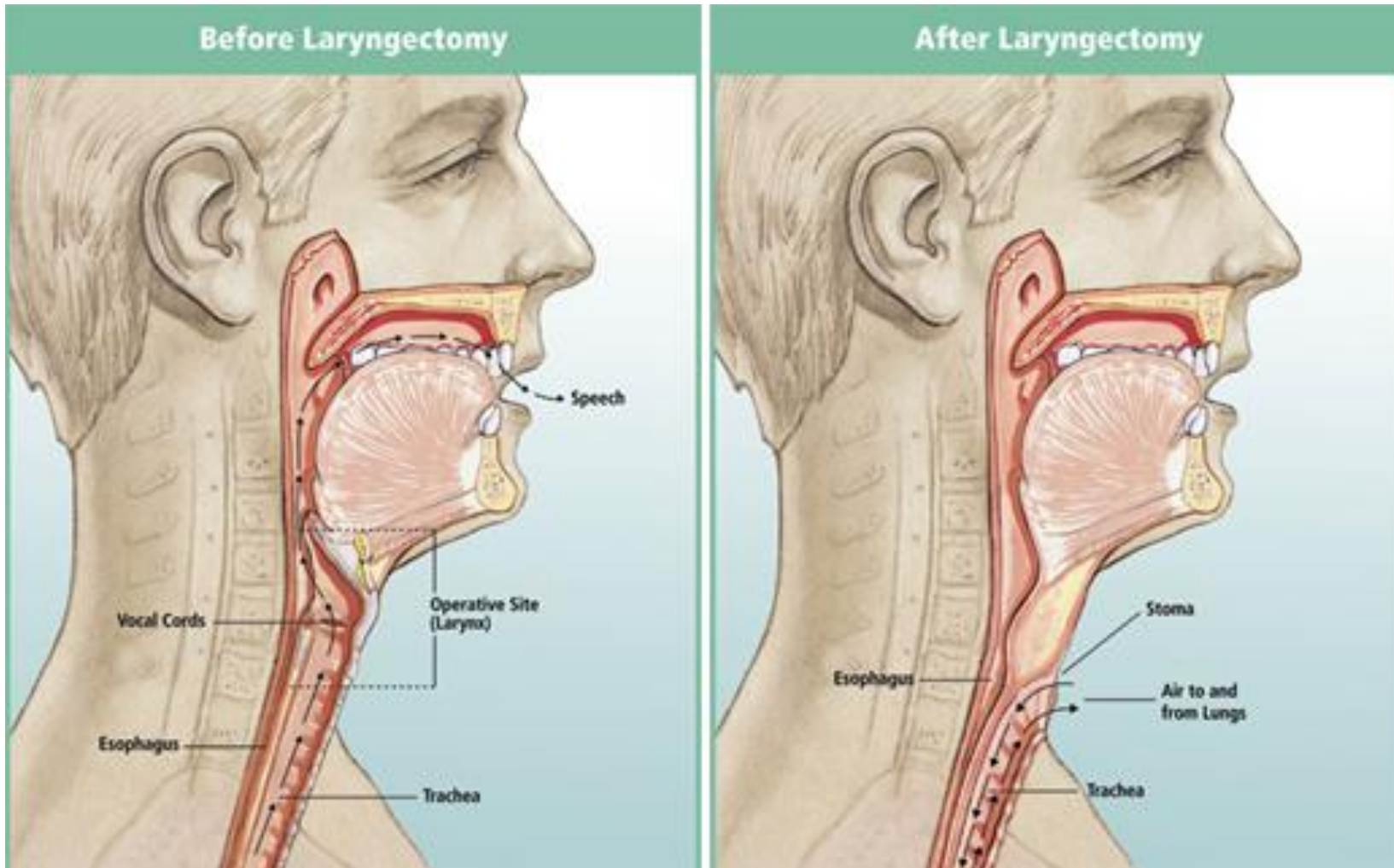
+

# Laryngectomy totale





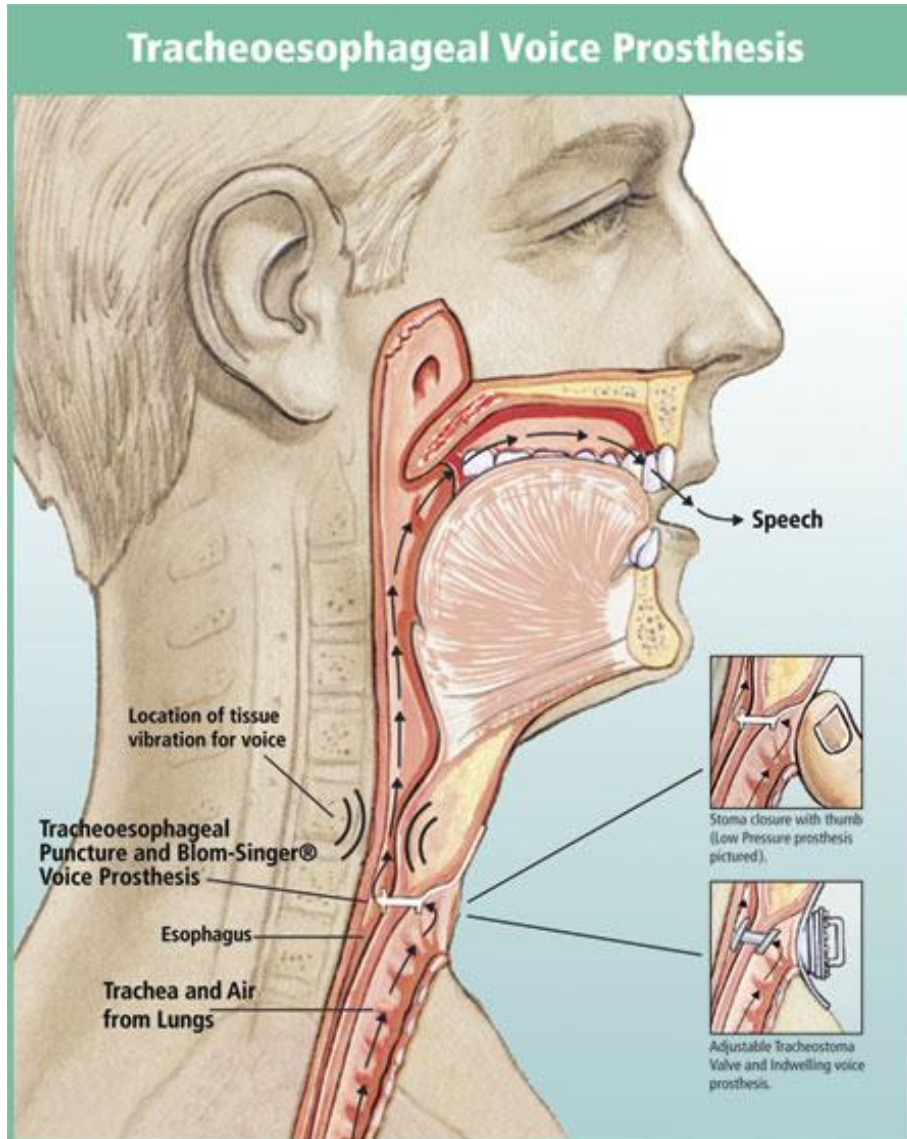
# Laringectomia totale



Differenza tra il passaggio dell'aria durante la normale respirazione e dopo l'intervento di laringectomia totale.



# Valvola fonatoria



Rappresentazione del passaggio dell'aria in seguito a puntura tracheoesofagea e impianto di protesi Blom Singer.



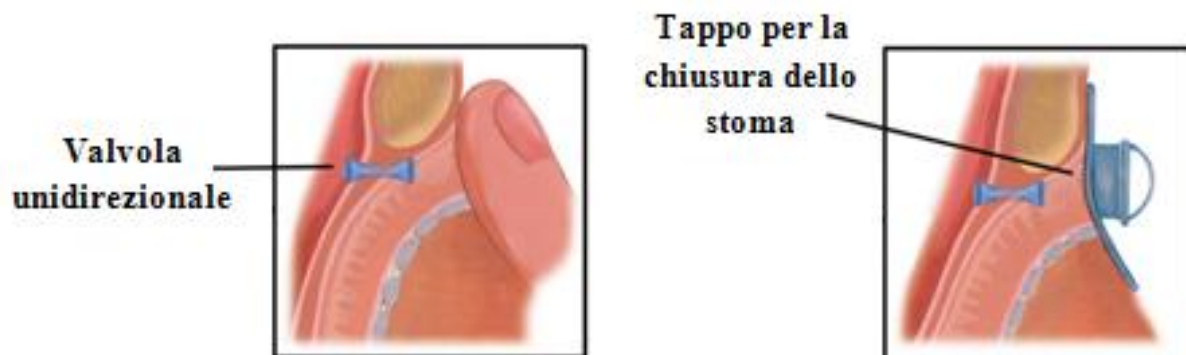
# La valvola fonatoria



- L'inserimento di una valvola fonatoria consente ristabilire la capacità di parlare per i pazienti laringectomizzati.
- Il metodo prevede la creazione attraverso una puntura tracheo- esofagea (TEP) di una fistola tra la parete posteriore della trachea e quella anteriore dell'esofago e il posizionamento di una **valvola unidirezionale** che permette la deviazione del flusso d'aria dalla trachea alla cavità orale.
- La produzione della voce avviene grazie alla chiusura del tracheostoma con un dito da parte del paziente oppure con l'applicazione di un apposito tappo.
- L'aria viene deviata dalla trachea nell'esofago e nella faringe in modo da mettere in vibrazione i tessuti e generare un suono che raggiungendo la bocca viene modulato da lingua, denti, labbra e palato.



# La valvola fonatoria



L'utilizzo della valvola unidirezionale consente di evitare il rigurgito del cibo e dei liquidi nella trachea, inoltre garantisce un corretto ed efficiente passaggio del flusso d'aria.



# Esempi



| STILI   |   |  | STILI   |  |
|---|---|--|---|--|
|  |  |  |  |       |
| <b>DUAL VALVE™</b><br>Protesi fonatoria<br>fissa<br>Disponibile in 20 Fr.         | <b>ADVANTAGE®</b><br>Protesi fonatoria<br>fissa<br>Disponibile in 16 e 20 Fr.     | <b>CLASSIC™</b><br>Protesi fonatoria<br>fissa<br>Disponibile in 16 e 20 Fr.        | <b>A BASSA<br/>PRESSIONE</b><br>Protesi fonatoria<br>Disponibile in 16 e 20 Fr.     | <b>DUCKBILL<br/>(A BECCO<br/>D'ANATRA)</b><br>Protesi fonatoria<br>Disponibile in 16 Fr. |
| <b>POSIZIONAMENTO DA PARTE DEL CLINICO</b>  |   |  | <b>SOSTITUIBILE DAL PAZIENTE</b>  |  |



# Esempi



Protesi fonatorie a bassa pressione



Protesi fonatorie a becco d'anatra



Protesi fonatorie a lunga permanenza



Dilatatori per fistola tracheoesofagea



Valvola tracheostomica



Valvola tracheostomica



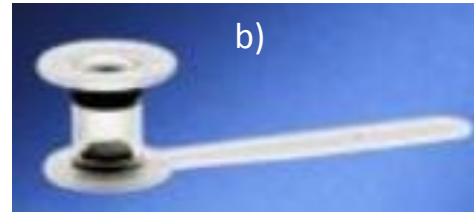
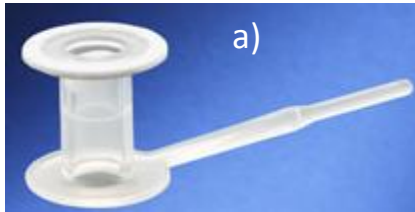


# Esempi: Blom-Singer



I principali modelli Blom- Singer®:

- a. Blom-Singer® Classic,
- b. Blom-Singer® DualValve,
- c. Blom-Singer® Duckbill,
- d. Blom-Singer® Increased Resistance,
- e. Blom-Singer® Advantage





# Esempi: Blom-Singer



- Le prime protesi Blom-Singer® erano di tipo non-indwelling con valvola duckbill (c), cioè dovevano essere sostituite ogni 3-4 giorni per garantire la sicurezza e il corretto funzionamento del dispositivo.
- Per ovviare questi problemi si sono sviluppati modelli indwelling con una componente tracheale più larga e flange esofagee di fissaggio, il primo esempio è Blom-Singer® Classic (a) che garantisce un inserimento non traumatico grazie alla sua struttura
- Per migliorare la durata media della vita della valvola è stata sviluppata Blom-Singer® DualValve (b) che presenta una seconda membrana sul lato tracheale in modo da sopperisce all'eventuale malfunzionamento della membrana esofagea, inoltre è da sottolineare che la membrana è costituita da silicone rivestito di uno strato di ossido di argento.
- Blom-Singer® Increased Resistance (d), invece, presenta un sito di alloggiamento della valvola rinforzato in modo da aumentare la durata del dispositivo in pazienti con problemi di scompenso di pressione (underpressure) creati nell'esofago in seguito a deglutizione o a profonda inalazione.
- Infine Blom-Singer® Advantage (e) presenta l'ossido di Ag non solo come rivestimento antibatterico, ma anche incorporato nella struttura in silicone, ne esistono due modelli che si differenziano dalla presenza o meno di un anello rinforzante in Ti nel condotto.

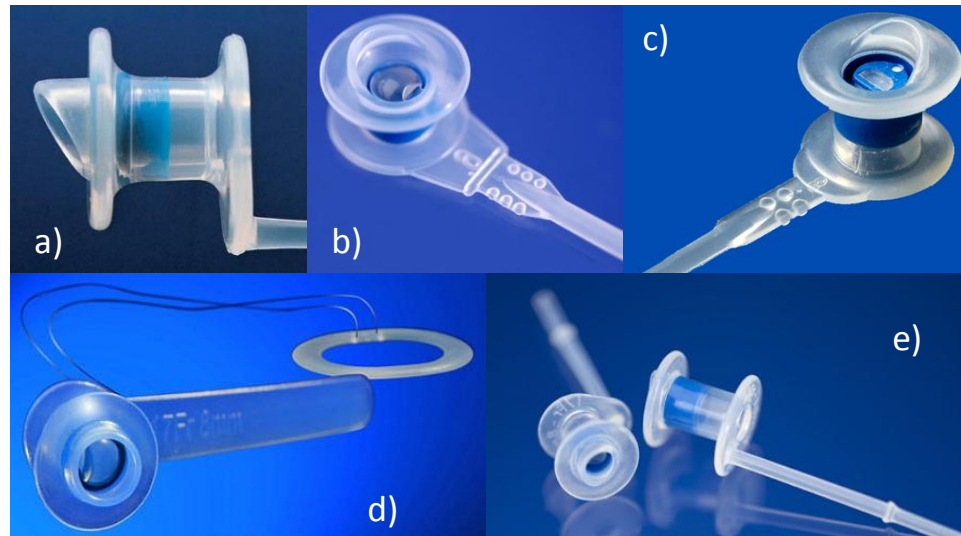


# Esempi: Provox



I principali modelli Provox®:

- a. Provox® 1,
- b. Provox® 2,
- c. Provox® ActiValve,
- d. Provox® NID,
- e. Provox® Vega





# Esempi: Provox



- Provox<sup>®</sup> 1 (a) è stata per lungo tempo la prima scelta per pazienti laringectomizzati, viene introdotta con inserimento retrogrado per facilitare il posizionamento della componente esofagea.
- Siccome la sua sostituzione è spiacevole per il paziente, è stata sviluppata Provox<sup>®</sup> 2 (b) che è meno rigida.
- Provox<sup>®</sup> ActiValve (c) presenta un sistema di chiusura magnetica per la membrana con tre diverse forze nel magnete: light (0,7 kPa), strong (2 kPa) e extra strong (4 kPa). E' necessario osservare che i modelli strong e extrastrong, possono occasionalmente bloccarsi provocando un'improvvisa incapacità di parlare, per evitare questo inconveniente si utilizzano oli lubrificanti. A differenza dei modelli precedenti, costruiti interamente in silicone, ActiValve presenta una membrana in materiale fluoroplastico che garantisce un'elevata resistenza alla colonizzazione batterica.
- Provox<sup>®</sup> NID (d) è l'ultimo modello di protesi di tipo non-indwelling disponibile sul mercato e dispone di un anello aggiuntivo in materiale plastico per prevenire la dislocazione in trachea.
- Provox<sup>®</sup> Vega (e) presenta un design che migliora le caratteristiche aerodinamiche e previene l'adesione della mucosa esofagea alla valvola, il flusso effettivo è aumentato grazie alla riduzione dello spessore della parete e all'inclinazione della membrana di 18°. E' costituita interamente in silicone tranne l'alloggiamento della membrana che è in materiale fluoroplastico.



# Esempi: Newvox

Newvox (prodotta da Vygon e distribuita prevalentemente in Francia) costituita il poliuretano e con posizionamento della flangia tracheale regolabile su un condotto filettato di lunghezza pari a 50 mm. La parte in eccesso viene poi rimossa in modo da ottenere un impianto di lunghezza ottimale.



Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord). 2007;128(3):163-72.Voice rehabilitation after total laryngectomy using the Newvox voice prosthesis.Traissac L, Chene G, Devars F, Houliat T, Essalki I, Bekhar H, Rousseau A.

+

# Specifiche tecniche





# Specifiche tecniche



| Modello                 | Diametro condotto (mm) | Lunghezza condotto (mm)                  | Indwelling (I)<br>Non Indwelling (N) |
|-------------------------|------------------------|--|--------------------------------------|
| <b>Blom-Singer</b>      |                        |  |                                      |
| Classic                 | 5,9 / 6,6              | 4,0 - 22,0*                              | I                                    |
| Dual Valve              | 5,7 / 6,7              | 6,0 - 14,0*                              | I                                    |
| Duckbill                | 5,9                    | 4,0 - 22,0*                              | N                                    |
| Increased Resistance    | 5,9 / 6,6              | 4,0 - 22,0*                              | I                                    |
| Large Esophageal Flange | 5,9 / 6,6              | 4,0 - 22,0*                              |                                      |
| Low Pressure            | 5,9 / 6,6              | 4,0 - 22,0*                              | N                                    |
| Advantage               | 5,9 / 6,6              | 4,0 - 22,0*                              | I                                    |
| <b>Heimomed</b>         |                        |  |                                      |
| Phonax                  | 7,0                    | 4,5 / 6,0 / 8,0 / 10,0 / 12,5            | I                                    |
| <b>Provox</b>           |                        |  |                                      |
| Provox 1                | 7,5                    | 4,0 - 10,0*                              | I                                    |
| Provox 2                | 7,5                    | 4,5 / 6,0 / 8,0 / 10,0 / 12,5 / 15,0     | I                                    |
| ActiValve               | 7,5                    | 4,5 / 6,0 / 8,0 / 10,0 / 12,5            | I                                    |
| NID                     | 5,7 / 6,7              | 6,0 / 8,0 / 10,0 / 12,0 / 14,0 /<br>18,0 | I                                    |
| Vega                    | 5,7 / 6,7 / 7,5        | 4,0 / 6,0 / 8,0 / 10,0 / 12,5 / 15,0     | I                                    |
| <b>Tracoe</b>           |                        |  |                                      |
| VoiceMaster Primo       | 8,0                    | 6,0 / 12,0*                              | I                                    |
| VoiceMaster             | 8,0                    | 6,0 / 10,0*                              | I                                    |
| <b>Groningen</b>        |                        |  |                                      |
| Groningen 4 L.R.        | 7,0 / 8,0              | 5,0 / 7,0 / 8,0 / 9,0 / 11,0 / 13,0      | I                                    |



# Specifiche tecniche

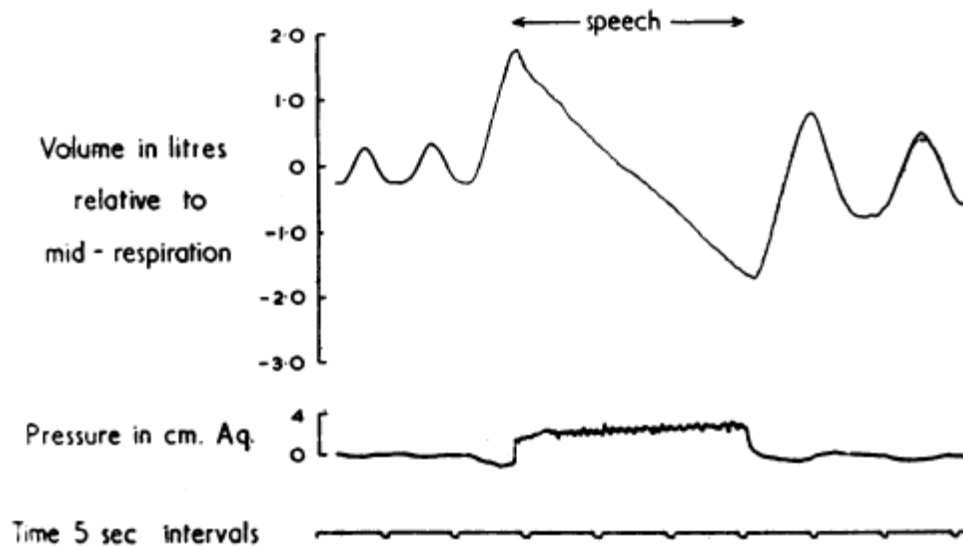


- Pressione sottoglottica durante la fonazione normale oscillano tra i 5 e i 10 cmH<sub>2</sub>O (7 cmH<sub>2</sub>O è la minima richiesta per l'eloquio)
- Flusso medio dell'aria durante la fonazione: 0,15 l/sec che corrispondono a 9 l/min
- Resistenza glottica di 20-100 dyne sec/cm<sup>2</sup> alle basse e medie frequenze e valori di 150 dyne sec/cm<sup>2</sup> alle alte frequenze (Isshiki) (1 dyne=10<sup>-5</sup>N) (la resistenza è normalizzata rispetto al volume)





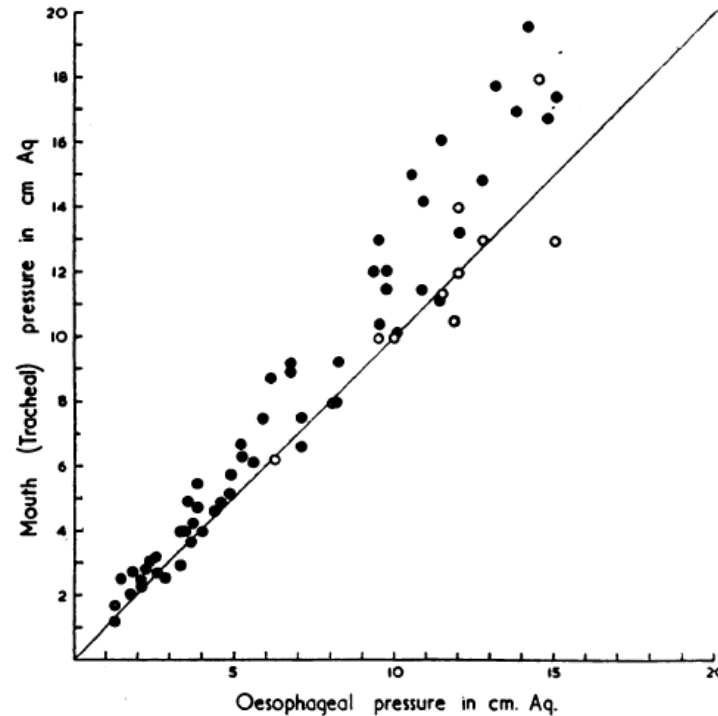
# Specifiche tecniche



Andamento della pressione esofagea in relazione con il volume di aria polmonare. Durante la normale respirazione i cambiamenti della pressione esofagea sono ridotti, successivamente nell'inspirazione profonda cala leggermente, poi cresce bruscamente a 3,5 cmH<sub>2</sub>O per rimanere costante durante il discorso.



# Specifiche tecniche



Pressione nell'esofago (cerchio pieno) e nella trachea (cerchio vuoto) misurate durante un'articolazione sostenuta.



# Specifiche tecniche



- Studio di Grolman (2008) su valvole Blom-Singer. In parentesi sono riportate le deviazioni standard dei valori ottenuti.

| Phonation task | Endo-tracheal pressure<br>cm H <sub>2</sub> O | Endo-esophageal pressure<br>cm H <sub>2</sub> O | Phonatory airflow<br>ml per second | Sound pressure levels<br>dB SPL | Pressure drop voice prosthesis<br>cm H <sub>2</sub> O |
|----------------|---|---|------------------------------------|---------------------------------|---|
| Minimum        | 27 (6.5)                                      | 18 (7.8)  | 133 (55)                           | 68 (6.4)                        | 10 (3.1)  |
| Comfort        | 33 (8.8)                                      | 22 (9.5)  | 167 (72)                           | 73 (5.6)                        | 12 (3.6)  |
| Maximum        | 67 (7.3)                                      | 52 (21.0)                                       | 267 (122)                          | 81 (6.5)                        | 16 (4.5)  |



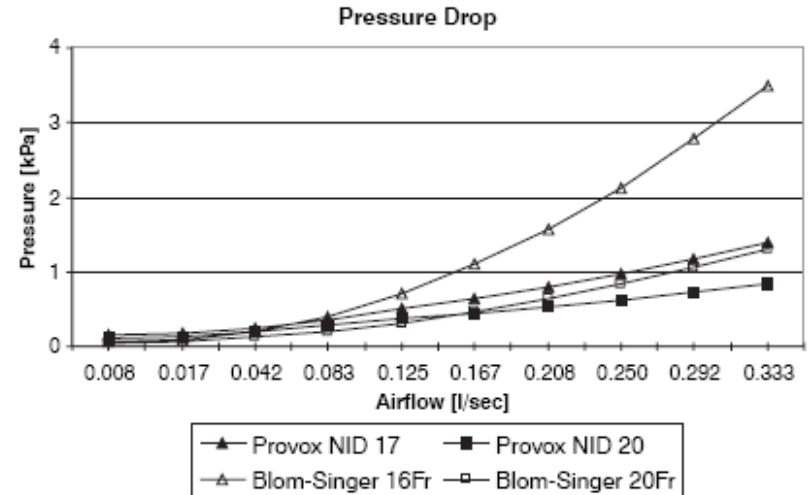
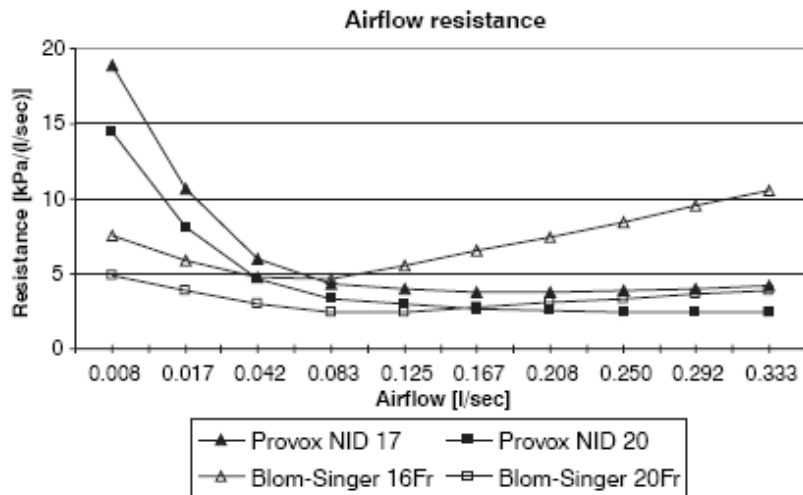
# Specifiche tecniche



- Secondo uno studio di Geertsema et al. (1997) la pressione intratracheale necessaria per la fonazione in protesi come Groningen low resistance, Blom-Singer Duckbill e Provox Low resistance varia da 3,3 a 1,36 kPa ( $\approx 30-13$  cmH<sub>2</sub>O)
- $1$  cmH<sub>2</sub>O  $\approx 0.736$  mmHg



# Specifiche tecniche



Studio di Hancock (2005) per confrontare i valori di flusso e pressione su valvole Blom-Singer e Provox



# Specifiche tecniche



|                             | Number of patients | %    | Mean pressure (cm H <sub>2</sub> O) |
|-----------------------------|--------------------|------|-------------------------------------|
| Fluent speech               | 156                | 83.5 | 15 (12 - 30)                        |
| Disfluent speech or aphonia | 31                 | 16.5 | 55 (40 - 70)                        |

Studio di Yonsey (2003) che confronta la pressione media del tracheostoma in pazienti con fonazione fluente e non (protesi Blom-Singer)

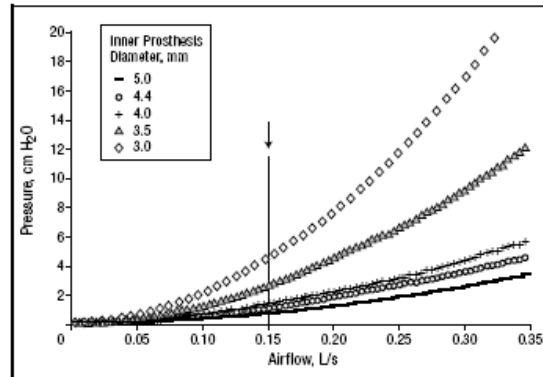


# Specifiche tecniche

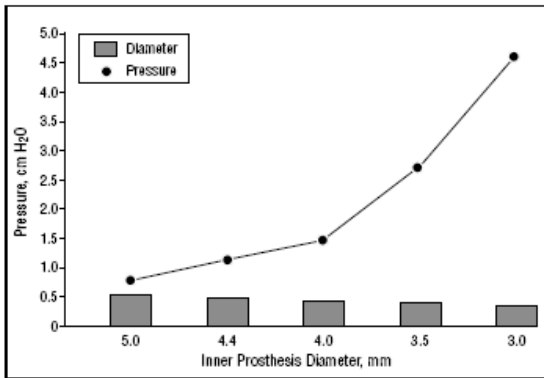


**Table 1. Average Pressure per Prosthesis Diameter at Varying Amounts of Airflow**

| Airflow, L/s | Pressure at Given Prosthesis Diameter, cm H <sub>2</sub> O |        |        |        |        |
|--------------|--|--------|--------|--------|--------|
|              | 5.0 mm   | 4.4 mm | 4.0 mm | 3.5 mm | 3.0 mm |
| 0.050        | 0.183  | 0.243  | 0.270  | 0.442  | 0.713  |
| 0.075        | 0.272  | 0.382  | 0.460  | 0.800  | 1.344  |
| 0.100        | 0.394  | 0.583  | 0.713  | 1.292  | 2.177  |
| 0.125        | 0.557  | 0.829  | 1.037  | 1.900  | 3.270  |
| 0.150        | 0.765  | 1.117  | 1.442  | 2.686  | 4.603  |
| 0.175        | 0.992  | 1.482  | 1.828  | 3.568  | 6.043  |
| 0.200        | 1.254  | 1.863  | 2.245  | 4.570  | 7.679  |
| 0.225        | 1.527  | 2.280  | 2.670  | 5.588  | 9.539  |
| 0.250        | 1.862  | 2.662  | 3.188  | 6.630  | 11.790 |
| 0.275        | 2.206  | 3.090  | 3.757  | 7.810  | 14.187 |
| 0.300        | 2.590  | 3.579  | 4.310  | 9.101  | 16.268 |
| 0.325        | 2.997  | 4.038  | 5.040  | 10.710 | 19.789 |



**Figure 2.** Graph illustrating measured pressure in relation to airflow for varying prosthesis diameters. The average airflow during phonation in patients with laryngectomy is 0.15 L/s (arrow).



**Figure 3.** Measured pressure at 0.15 L/s airflow. The increase in pressure after decreasing the inner prosthesis diameter from 4.0 to 3.5 mm is significant.

**Table 2. Calculation of Percentage of Weight Loss With Decreasing Diameters of the Prosthesis\***

| Inner Diameter, mm | Area, mm <sup>2</sup> | % of Weight Compared With 5-mm Device | % of Weight Decrease Compared With 5-mm Device |
|--------------------|-----------------------|---------------------------------------|--|
| 5.0                | 8.60                  | 100                                   | ...  |
| 4.4                | 7.69                  | 89                                    | 11   |
| 4.0                | 7.07                  | 82                                    | 18   |
| 3.5                | 6.28                  | 73                                    | 27   |
| 3.0                | 5.49                  | 64                                    | 36   |

\*All calculations were made with the assumption that the standard thickness of the prosthesis wall (difference between outer and inner diameter) is 1 mm. Formula used for calculation was  $\frac{1}{4} \times \pi \times (\text{outer diameter})^2 - \frac{1}{4} \times \pi \times (\text{inner diameter})^2$ . The percentage of weight for prostheses of decreasing diameter was calculated in comparison with the original 5-mm inner prosthesis diameter given a known standard relative weight.

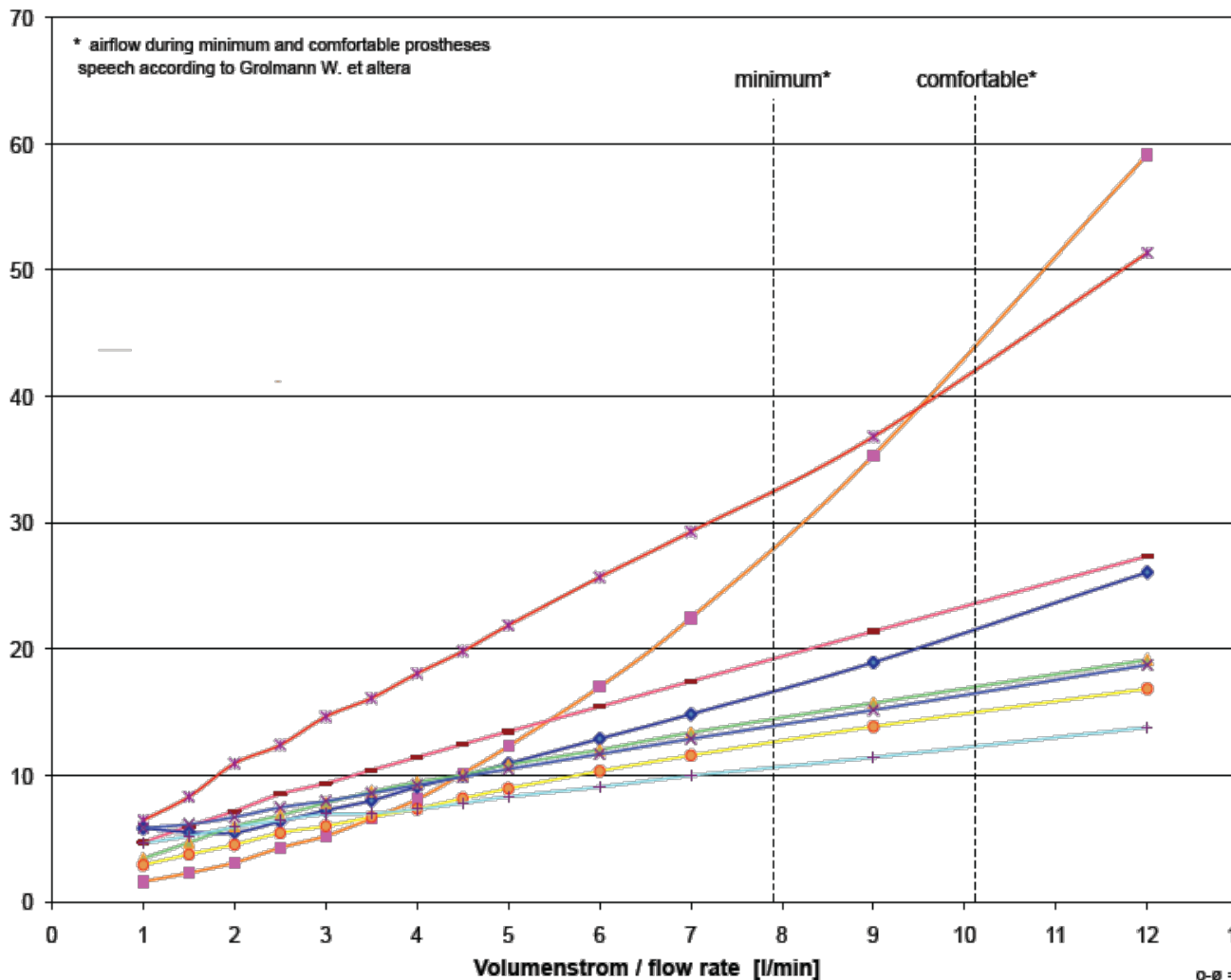
Studio di Eerenstein su valvole VoiceMaster con diversi valori di diametri interni.

Si osserva che la pressione aumenta in maniera significativa per diminuzioni di diametro sotto i 4 mm, per variazioni comprese tra 5 e 4 mm non si osservano variazioni significative.



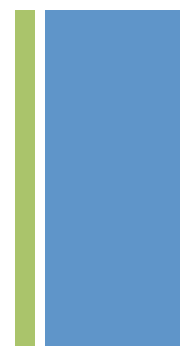
# Specifiche tecniche

dP [mbar]



- Blom-Singer Classic 16fr  
o-ø 5,4mm  
i-ø 2,5mm
- Blom-Singer Dual Valve  
o-ø 6,7mm
- Blom-Singer Classic 20fr  
o-ø 6,7mm  
i-ø 4,0mm
- Provox Vega 17,5fr  
o-ø 5,8mm
- Heimomed Phonax  
o-ø 7mm
- Provox 2  
o-ø 7mm  
i-ø 4,0mm
- Voicemaster  
o-ø 8mm  
i-ø 5,0mm
- Provox Vega 22,5fr  
o-ø 7,5mm  
i-ø 16mm<sup>2</sup>

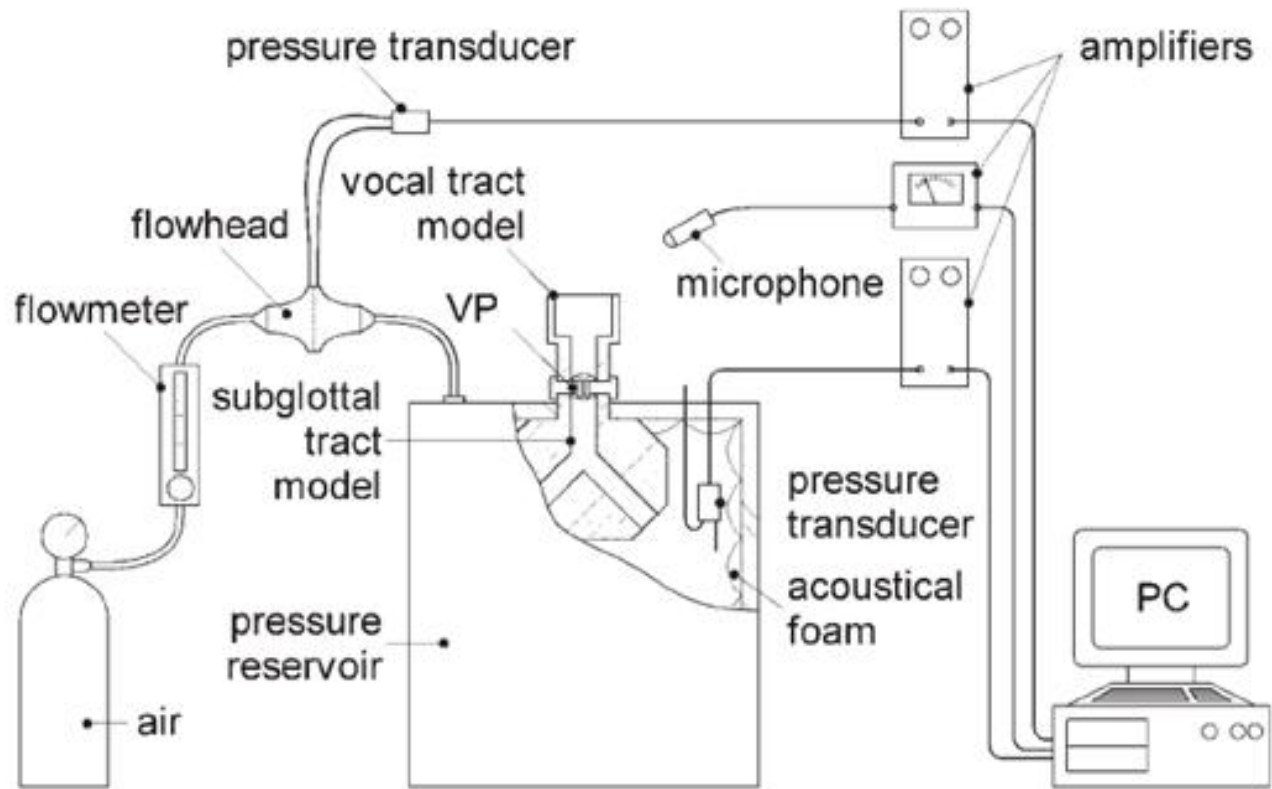
o-ø = biggest outer diameter  
i-ø = smallest inner diameter







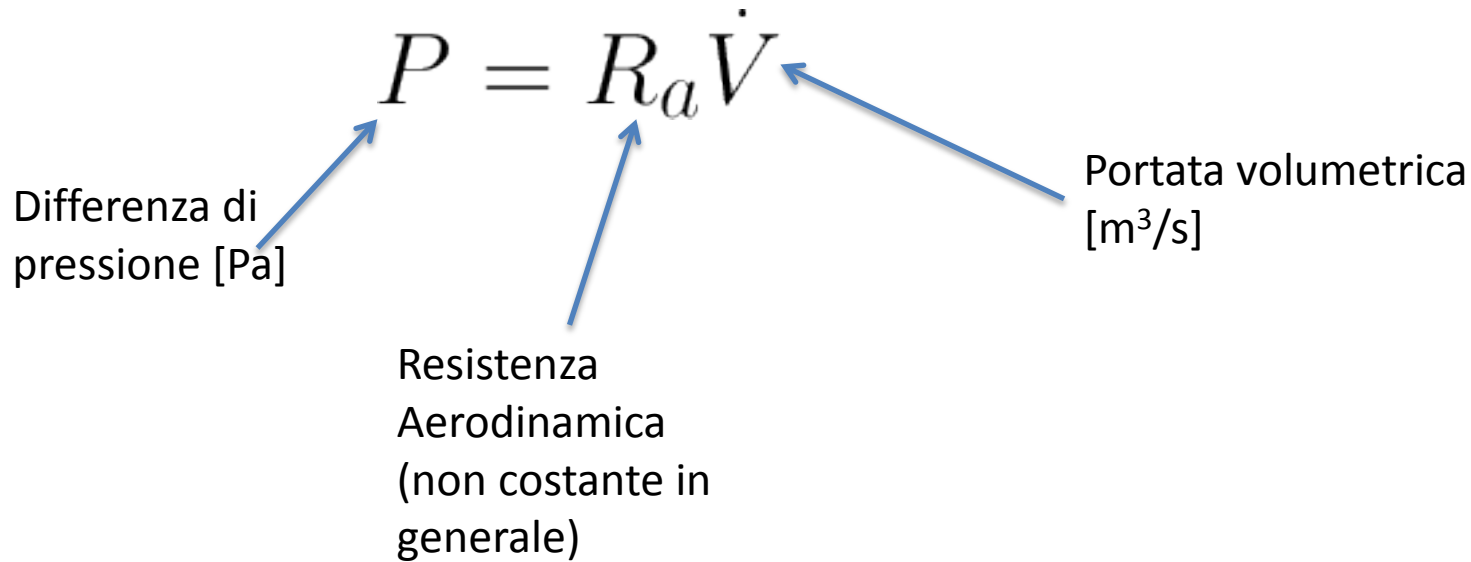
# Banco di prova



Misurazione di flusso e pressione (Tack 2007)



# Perdite di carico



Porre l'attenzione sull'unità di misura della resistenza areodinamica: alcuni testi riportano una normalizzazione rispetto al volume, altri rispetto alla densità (cft il fattore di attrito di Fanning)