

## Network funzionali dei segnali molecolari in Fisiologia

**Sistema cardiocircolatorio**

Prof. Angelone Tommaso – 13/12/2022- Autori: Luciani, Mandolito, Zanella, Vladasel, Galluccio - Revisionatori: Carleo

Il sistema cardiocircolatorio è un circuito composto da una pompa (cuore) e da vasi che rispettivamente hanno il compito di pompare e trasportare il sangue in tutti i distretti del nostro corpo. La funzionalità di questo circuito è garantita, appunto, dal **cuore**, una pompa meccanica che attraverso il ciclo di contrazione e rilassamento è in grado di fornire attraverso il **sangue**, che scorre all'interno di questo circuito, nutrienti per gli organi e i tessuti periferici, in particolare l'ossigeno, per garantire la sopravvivenza delle cellule. Nel nostro organismo si distinguono due sistemi di circolazione del sangue attraverso i vasi:

- **Piccola Circolazione:** è il circuito che parte dal ventricolo destro del cuore e trasporta il sangue deossigenato ai polmoni, mediante le arterie polmonari. Nei polmoni il sangue si carica di ossigeno e ritorna al cuore grazie alla vena polmonare e rientra nell'atrio sinistro.
- **Grande Circolazione:** è il circuito che parte dal ventricolo sinistro del cuore e trasporta il sangue ossigenato ai tessuti periferici. Il cuore immette il sangue nell'aorta che poi grazie alle sue ramificazioni finisce nei tessuti, rilascia ossigeno, e ritorna al cuore grazie alle vene. Le vene che rilasciano poi il sangue nell'atrio destro sono la vena cava superiore e la vena cava inferiore.

**COMPONENTI FUNZIONALI DELLA CIRCOLAZIONE**

Il sangue può essere trasportato nei vari distretti del nostro corpo attraverso i vasi, che possono essere di vario tipo:

- **ARTERIE:** sono i vasi che trasportano il sangue dal cuore verso la periferia. La più grande arteria del corpo è l'aorta costituita da un'importante componente elastica e fibrosa, la cui funzione principale è quella di permettere alla parete del vaso di resistere alle pressioni del sangue, pompato dal cuore.

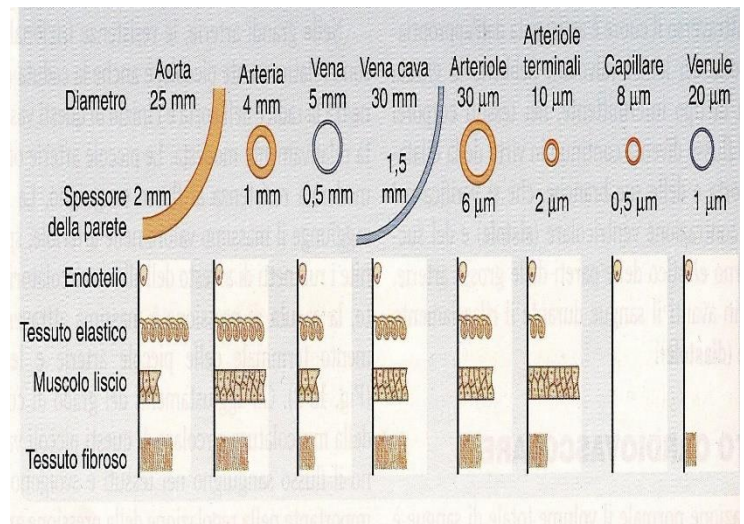
*Più in generale, un'arteria possiede pareti robuste in cui il sangue qui scorre ad alte velocità;*

*inoltre è abbastanza sviluppata nelle arterie la componente muscolare, la cui contrazione permette al vaso di resistere all'onda d'urto del sangue.*

Avvicinandosi agli organi periferici, le arterie si diramano in vasi con diametro sempre minore, le **arteriole**, dove la pressione sanguigna raggiunge valori minimi; a questo livello la componente muscolare è ancora più sviluppata rispetto all'arteria, che può contrarsi e chiudere del tutto il vaso (vasocostrizione) o rilasciarsi e dilatarlo (vasodilatazione) in base alla necessità di nutrienti dell'organo bersaglio.

- **VERE:** sono i vasi che trasportano il sangue dalla periferia verso il cuore. Le più grandi vene presenti nel nostro corpo sono le vene cave, che presentano una sviluppata componente elastica e fibrosa. Nelle vene la pressione è molto minore rispetto alle arterie, per cui hanno una parete più sottile, anche se possiedono una componente muscolare in grado di spingere il sangue. All'interno delle vene sono presenti delle valvole, le cosiddette *valvole a nido di rondine*, che evitano il reflusso sanguigno. Le vene si formano grazie all'anastomizzarsi di vasi più piccoli, le **venule**, le quali raccolgono il sangue dai capillari.

- CAPILLARI:** sono i vasi che costituiscono il sistema di scambio dei nutrienti a livello dei tessuti periferici. I capillari sono vasi che non generano pressione sulle proprie pareti. Dato che a questo livello il sangue deve scorrere più lentamente per favorire il passaggio dei nutrienti per diffusione attraverso l'endotelio essi non possiedono alcuna componente elastica e muscolare. I capillari possono essere classificati in tre categorie in base alla struttura del suo endotelio:



- Continui: costituiti da uno strato continuo di cellule endoteliali uniti da giunzioni occludenti;
- Fenestrati: costituiti da dei pori sulla superficie endoteliale ma rivestiti da sottili diaframmi;
- Sinusoidi: in cui vi sono delle vere e proprie discontinuità sulla superficie capillare (Fonte: Monesi).

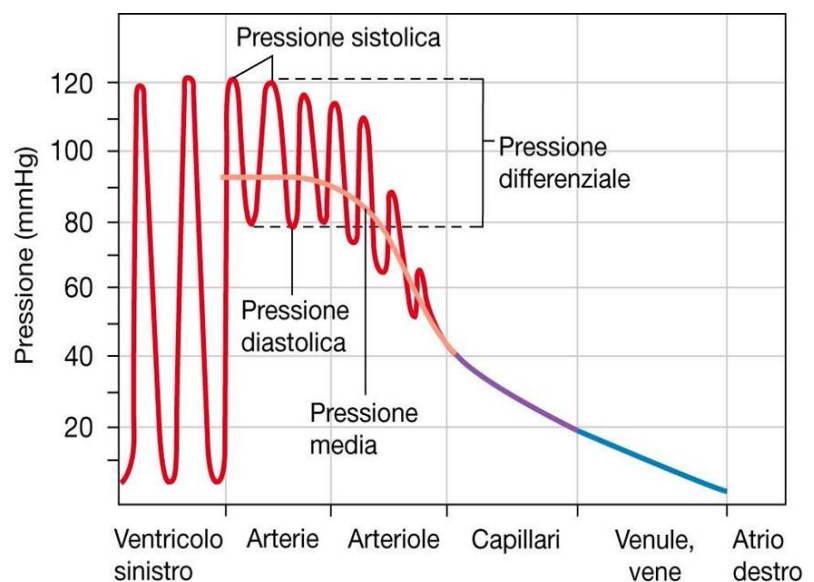
Quindi, riassumendo, la sequenza di vasi nel grande circolo è la seguente:

**ARTERIE - ARTERIOLE – CAPILLARI – VENULE - VENE**

### PRESSIONE SANGUIGNA

Il cuore pompa il sangue a determinate pressioni; le pressioni del sangue ovviamente sono diverse in base al vaso considerato.

In figura si vedono delle *oscillazioni pressorie*: quando il sangue entra nell'aorta ha la pressione massima, man mano che incontra arterie sempre più piccole la pressione diminuisce (questo perché a livello delle arteriole il sangue non può arrivare alla pressione che è presente nell'aorta (120 mmHg) senza causare la distruzione del vaso) infatti a livello dell'arteriola il sangue deve arrivare a una pressione intorno a 50-60 mmHg).



Inoltre, la pressione deve essere necessariamente ridotta a livello capillare per favorire gli scambi di nutrienti con le cellule dei vari tessuti. Una pressione troppo elevata non favorirebbe la diffusione dei nutrienti attraverso le fenestrature dei capillari.

A livello delle arterie, specialmente a livello aortico, la pressione arteriosa che si viene a generare è la **pressione di contrasto** alla pressione generata dal cuore: quando il cuore genera una pressione di spinta, l'arteria deve contrastare la spinta verso l'esterno, poiché altrimenti la forza di spinta del cuore potrebbe causare lo scoppio del vaso. Nel momento in cui l'arteria si espande per la pressione, la componente elastica per smorzare la pressione favorisce la contrazione della parete muscolare.

Il flusso di sangue che scorre nei vasi sanguigni è direttamente proporzionale alla differenza di pressione che si genera nell'arteriola e inversamente proporzionale al raggio.

*Un esempio che spiega alla perfezione questo fenomeno è quello di quando proviamo a gonfiare un palloncino: man mano che il palloncino si gonfia diventa sempre più faticoso per noi buttare l'aria all'interno del palloncino, poiché il palloncino esercita una forza a opporsi al nostro soffio poiché si rischierebbe di far scoppiare il palloncino.*

### **POLSO ARTERIOSO**

Il polso arterioso è una variazione pressoria corrispondente all'**onda sfigmica** che si propaga lungo tutto il sistema vasale, generata dalla sistole cardiaca.<sup>1</sup> L'onda sfigmica è un aumento di pressione che percorre tutto l'albero arterioso ogni volta che il cuore spinge la sua gittata sistolica<sup>2</sup> nell'aorta.

NOTA BENE: non bisogna confondere la gittata sistolica dalla gittata cardiaca.

La **gittata sistolica** rappresenta la quantità di sangue pompata ad ogni sistole (circa 70 ml) attraverso ciascun ventricolo.

La **gittata cardiaca** o portata cardiaca è il volume di sangue che il ventricolo destro e il ventricolo sinistro riescono ad espellere in un minuto attraverso l'arteria polmonare e l'aorta, rispettivamente. (circa 5L).

L'onda di pressione si propaga con una velocità maggiore della velocità del sangue. L'onda sfigmica fa pulsare le arterie e su questa pulsazione si basano tutti i metodi per la determinazione indiretta della pressione arteriosa. Il metodo classico fu introdotto dal medico torinese Scipione Riva Rocci nel 1896. Rocci riuscì a inventare un misuratore di pressione, lo sfigmomanometro, che grazie a un manicotto che bloccava momentaneamente il flusso stringendo il braccio e successivamente lo rilasciava riusciva a calcolare la pressione arteriosa.

Esistono diversi metodi per calcolare la pressione sanguigna in varie regioni del nostro corpo:

- **Polso carotideo:** si misura nella parte alta e laterale del collo, sotto la mandibola, e misura la pressione dell'arteria carotide.
- **Polso brachiale:** è il polso che si misura con lo sfigmomanometro e misura la pressione dell'arteria brachiale
- **Polsi periferici:** sono i polsi che si possono apprezzare a livello periferico. Essi possono essere di vari tipi: polso femorale che misura la pressione dell'arteria femorale, sebbene sia una pratica poco diffusa nelle situazioni di emergenza; polso popliteo, che si pratica a livello del ginocchio e misura la pressione dell'arteria poplitea; polso radiale, che si pratica a livello del polso e misura la pressione dell'arteria radiale.

I polsi periferici sono molto meno diffusi come pratiche, ma sono utili per lo più se si vuol capire se è presente un'ostruzione a livello periferico.

---

<sup>1</sup> La sistole è la fase di contrazione del muscolo cardiaco quindi della spinta del sangue *all'esterno* del cuore (Fonte: Wikipedia)

<sup>2</sup> La gittata sistolica è il volume di sangue pompato da un ventricolo nel corso di una singola contrazione (Fonte: My Personal Trainer)

La pressione sanguigna del cuore è permessa dall'alternanza tra **diastole** e **sistole**.

- La sistole è la forza di contrazione, cioè la pressione di spinta del cuore; essa dipende dalla forza di contrazione ventricolare e dalla gittata sistolica.
- La diastole è la pressione di rilassamento del cuore e dei vasi; essa dipende dal ritorno elastico dell'aorta.

La pressione arteriosa dipende dalla forza del sangue (cioè la gittata cardiaca) e dalla resistenza periferica, cioè la forza che i vasi periferici oppongono alla pressione di spinta.

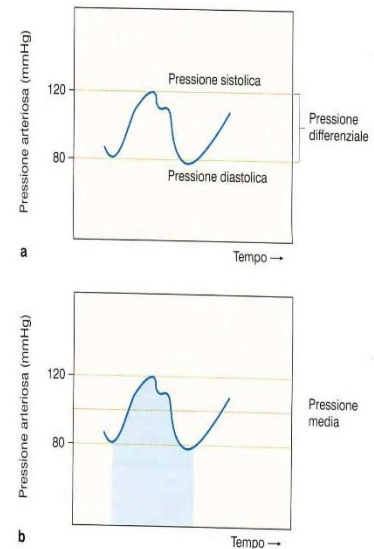
Nello specifico la pressione arteriosa segue questa formula:

$$DP = F \times R$$

*DP=pressione arteriosa*

*F= forza di spinta del sangue*

*R= resistenza*



- Uno dei fattori che influenza la pressione arteriosa è la volemia, ovvero il volume totale del sangue, cioè del plasma e degli elementi figurati (globuli rossi, globuli bianchi e piastrine). La volemia comprende sia la massa di sangue circolante nei vasi, sia quella immobilizzata in alcuni organi che fungono da depositi, come fegato o milza. Il volume di sangue circolante è controllato dai reni e varia in funzione di peso corporeo, età e sesso.<sup>3</sup>  
La volemia è controllata da recettori a livello atriale che controllano l'eventuale carenza di liquidi (questi recettori sono presenti anche nell'ipotalamo; essi provocano la sete e con l'avanzare dell'età vengono meno a questa funzione).
- Altri fattori che determinano la pressione cardiaca sono:
  - efficacia del cuore come pompa (gittata cardiaca determinata da frequenza e forza di contrazione del miocardio, ovvero gittata sistolica)
  - resistenza periferica, ovvero in che modo le arteriole riescono a contrastare la forza del cuore (questo dipende in particolare dal diametro delle **arteriole**).

**ADESSO il prof si sofferma sulle arteriole collegandosi sul loro ruolo nella resistenza (segue alla pagina succ.)**

<sup>3</sup> (Fonte: mypersonaltraier.it)

## ARTERIOLE

La distribuzione del sangue ai diversi tessuti è controllata dalle arteriole, che per il loro calibro (inferiore a quello delle arterie) sono i vasi che contribuiscono maggiormente alla resistenza del sistema circolatorio. La parete delle arteriole contiene muscolatura liscia, il cui stato di contrazione può essere modificato con conseguente variazione del calibro e quindi variazione della resistenza al flusso.

La resistenza al flusso nel sistema circolatorio **dipende da:**

- **diametro dei vasi**
- tipo di scorrimento (laminare o turbolento)
- viscosità del sangue
- disposizione dei vasi in serie o in parallelo

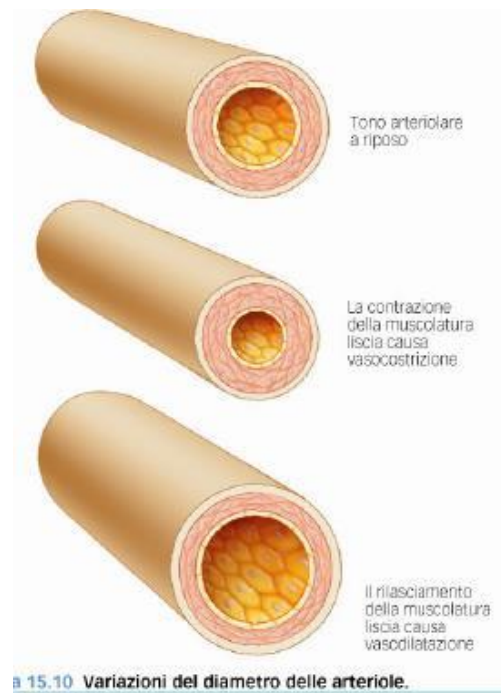
Il **diametro delle arteriole** può essere a sua volta determinato da:

- **Autoregolazione miogena:** fenomeno per cui le arteriole sottoposte ad un aumento di tensione, sintomo di un rialzo pressorio, si costringono diminuendo il flusso che le attraversa.
- Neuromediatrici del SNA (NA etc.)
- Ormoni (Adrenalina, Angiotensina II, ADH etc.)
- Metaboliti tissutali ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  etc.)
- Agenti paracrini (Istamina, BK, NO etc.)

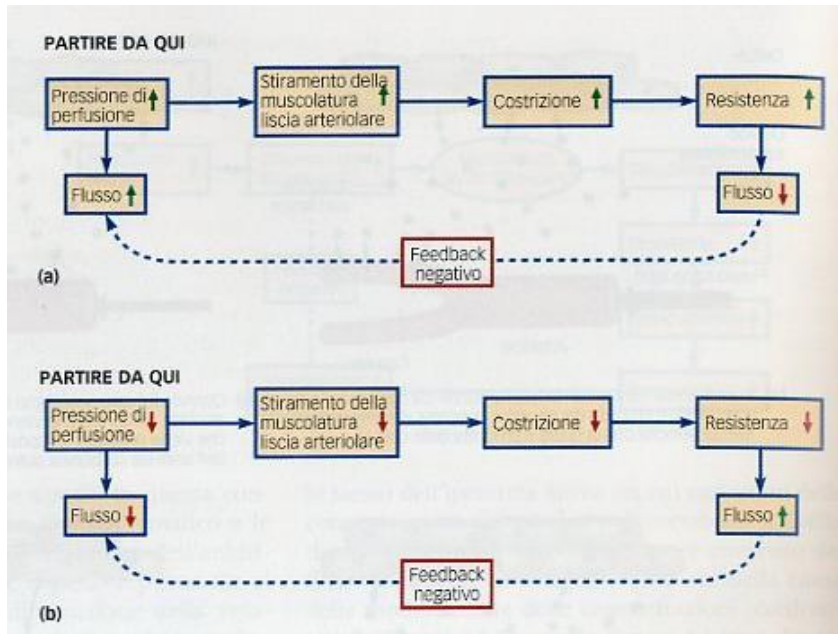
Nello specifico:

- **Risposta miogenica:** un aumento locale flusso ematico provoca lo stiramento delle arteriole, che stimola la vasocostrizione e il conseguente aumento della pressione arteriosa locale e riduzione del flusso sanguigno  
(*Approfondimento da Wikipedia*)

Il muscolo liscio dei vasi sanguigni reagisce allo stiramento del muscolo aprendo i canali ionici, che causano la depolarizzazione del muscolo, portando alla contrazione muscolare: ciò riduce significativamente il volume di sangue in grado di passare attraverso il lume, che a sua volta riduce il flusso di sangue attraverso il vaso sanguigno. Al contrario, quando la muscolatura liscia del vaso sanguigno si rilassa, i canali ionici si chiudono con conseguente vasodilatazione dei vasi sanguigni, questo aumenta la velocità di flusso attraverso il vaso. Questo sistema è particolarmente importante nei reni, dove il tasso di filtrazione glomerulare, cioè la velocità di filtrazione del sangue da parte del nefrone, è particolarmente sensibile ai cambiamenti di pressione sanguigna. Tuttavia, con l'aiuto del meccanismo miogenico, la velocità di filtrazione glomerulare diviene meno sensibile alle variazioni di pressione. Il meccanismo miogenico nel rene è parte del meccanismo di autoregolazione che mantiene costante il flusso ematico renale al variare della pressione arteriosa. L'autoregolazione della pressione glomerulare e di filtrazione indica la regolazione delle resistenze preglomerulari. Studi sperimentali sono stati condotti per valutare i due meccanismi nel rene, la risposta miogenica e il feedback tubuloglomerulare.



**15.10** Variazioni del diametro delle arteriole.



### PRINCIPALI FATTORI CHE INTERVENGONO NELLA REGOLAZIONE PERIFERICA

**Controllo nervoso** → Fibre vasocostrittrici ortosimpatiche (**noradrenalina**)

**Controllo ormonale**

#### Noradrenalina:

➤ vasocostrizione in tutti i distretti circolatori

#### Adrenalina:

➤ vasocostrizione (recettori  $\alpha$ ) nei distretti cutaneo, plancnico e renale

➤ vasodilatazione (recettori  $\beta_2$ ) nei distretti muscolare scheletrico

#### ➤ Angiotensina II:

Vasocostrizione in tutti i distretti del circolo sistemico

➤ Vasopressina o ormone antidiuretico (ADH)

Vasocostrizione in tutti i distretti del circolo sistemico

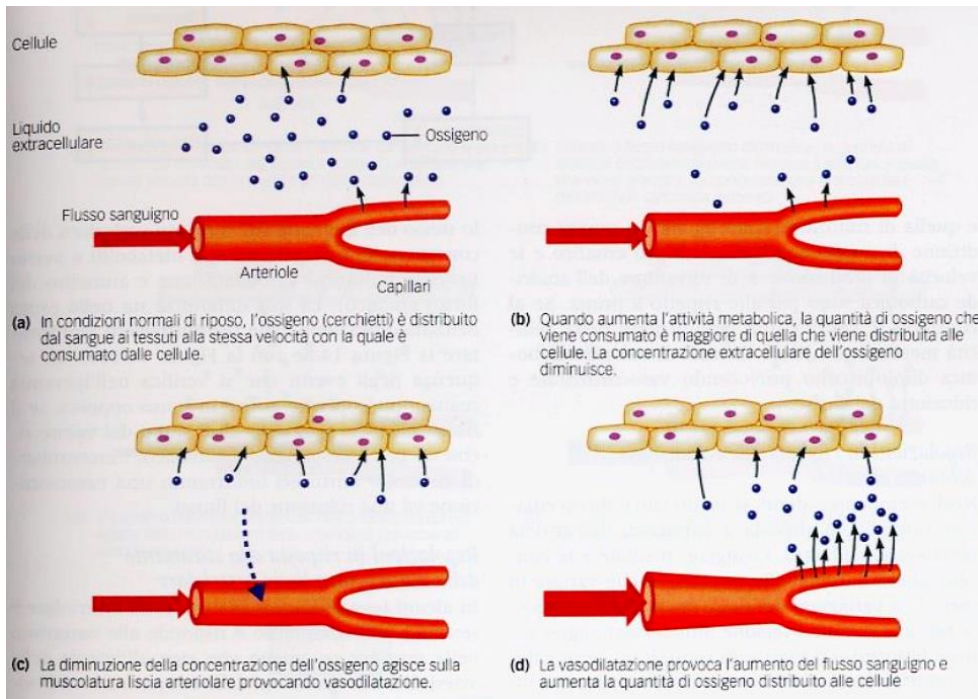
➤ Peptide Natriuretico Atriale

Vasodilatazione

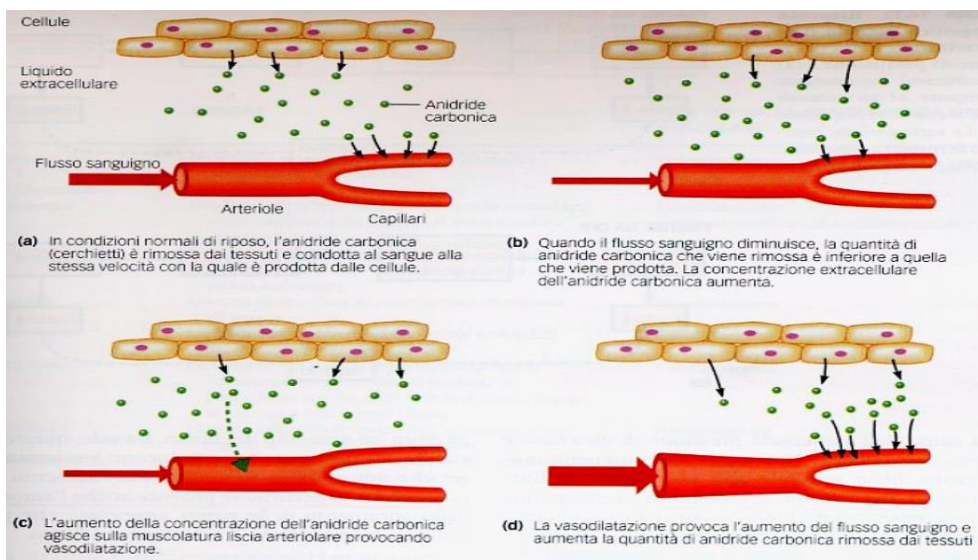
### CONTROLLO LOCALE DELLA VASOMOTILITÀ: FATTORI METABOLICI

- **Iperemia attiva:** dipende dalle variazioni delle sostanze chimiche associate con l'aumento dell'attività metabolica portano a vasodilatazione, diminuzione della resistenza e aumento del flusso ematico.
- **Iperemia reattiva:** se il flusso ematico diviene insufficiente (ischemia) per rispondere alla richiesta metabolica, i meccanismi locali inducono vasodilatazione e come risultato un incremento del flusso ematico.





Questo schema viene letto dal professore ed è la rappresentazione grafica dell'**IPEREMIA ATTIVA**.



Questo schema viene letto dal professore ed è la rappresentazione grafica dell'**IPEREMIA REATTIVA**.

**NOTA:** Sono stati riportati totalmente poiché è necessario impararli leggendo e collegando le immagini alle definizioni. È stata anche aumentata la luminosità dell'immagine per facilitarne la visione.

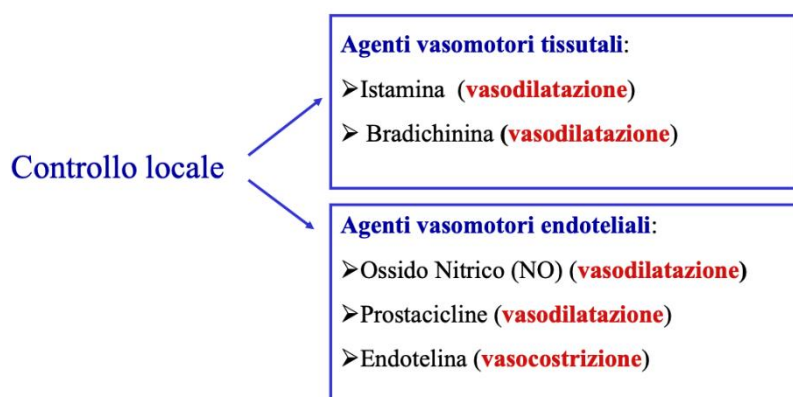
### APPROFONDIMENTI:

L'iperemia attiva e reattiva presentano diverse caratteristiche e una diversa origine.

- L'**iperemia attiva** è un processo che permette a un tessuto in forte attività di ricevere un maggior apporto ematico, quindi un tessuto che inizia un'attività, come per esempio un muscolo durante la corsa, avrà necessità di più ossigeno e nutrienti che verranno garantiti da un maggior apporto ematico.
- L'**iperemia reattiva** invece è quella condizione di vasodilatazione (e quindi di maggior flusso ematico) che si verifica dopo un periodo di occlusione vasale, il quale può essere conseguente, per esempio, a una compressione del vaso.

Quindi il termine iperemia attiva indica un maggior apporto di sangue che si verifica in condizioni di aumentata attività tissutale mentre il termine iperemia reattiva indica un aumento del flusso ematico successivo al ripristino della pervietà vasale, successivo a un blocco vascolare.

L'iperemia reattiva e attiva ha la funzione di garantire un maggior apporto di nutrienti e una più rapida eliminazione delle sostanze di scarto. Quindi qualsiasi sia la causa che ha determinato l'iperemia lo scopo ultimo sarà sempre lo stesso. In condizioni di aumentata richiesta di nutrienti e ossigeno l'aumento della vascolarizzazione (attiva o reattiva) ha lo scopo di garantire un maggior apporto di metaboliti e una maggiore eliminazione di cataboliti.



### PRINCIPALI FATTORI UMORALI CHE INTERVENGONO NELLA REGOLAZIONE PERIFERICA

Il controllo locale avviene tra cellule adiacenti. Da ricordare è che gli agenti vasomotori endoteliali agiscono sulla muscolatura liscia.

## LA PRESSIONE ARTERIOSA

### Breve ripasso di cos'è la pressione arteriosa

La **pressione arteriosa**, o **pressione arteriosa sanguigna**, è la forza che il sangue esercita contro le pareti dei vasi sanguigni, a seguito dell'azione di pompa svolta dal cuore.

Il suo valore dipende da vari fattori, tra cui:

- La forza di contrazione del cuore;
- La gittata sistolica, ossia la quantità di sangue in uscita dal cuore a ogni contrazione ventricolare;
- La frequenza cardiaca, cioè il numero di battiti cardiaci al minuto;
- Le resistenze periferiche, ossia le resistenze opposte alla circolazione del sangue dallo stato di costrizione dei piccoli vasi arteriosi (arteriole);
- L'elasticità dell'aorta e delle grandi arterie (la cosiddetta compliance vascolare);
- La volemia, cioè il volume totale di sangue circolante nel corpo.

	PRESSIONE SISTOLICA (mm Hg)	PRESSIONE DIASTOLICA (mm Hg)
NORMALE	< 120	< 80
PRE-IPERTENSIONE	120-139	80-89
IPERTENSIONE DI GRADO I (moderata)	140-159	90-99
IPERTENSIONE DI GRADO II (grave)	≥ 160	≥ 100

Misurata in **millimetri di mercurio** (mmHg), con il paziente in stato di riposo, la pressione sanguigna è solitamente definita attraverso i valori di pressione sistolica o “**massima**” (è la pressione arteriosa di quando il cuore si contrae) e di **pressione diastolica** o “**minima**” (è la pressione arteriosa di quando il cuore è in fase di rilassamento).

La pressione arteriosa non ha un valore standard, infatti i numeri che riportati accanto sono delle medie della popolazione caucasica.

*Le persone di colore, ad esempio, hanno dei valori della pressione arteriosa più alta.*



## COS'È L'IPERTENSIONE?

L'**ipertensione**, o **ipertensione arteriosa**, è una condizione patologica caratterizzata dalla presenza **COSTANTE** (non occasionale) di livelli pressori a riposo superiori alla normalità.

In altre parole, l'ipertensione è uno stato in cui la pressione arteriosa a riposo è costantemente superiore alla norma.

In termini numerici, una persona soffre di ipertensione (cioè è ipertesa), quando:

- La pressione arteriosa minima (o pressione diastolica) supera “costantemente” il valore di **90mm/Hg**
- La pressione arteriosa massima (o pressione sistolica) supera “costantemente” il valore di **140 mm/Hg**.

Nel gergo comune, l'ipertensione è quella condizione definita con il termine “pressione alta”.

Quindi, ipertensione, ipertensione arteriosa e pressione alta sono tre modi diversi per esprimere lo stesso stato di alterazione della pressione arteriosa.

## Perché è importante l'aggettivo COSTANTE, quando si parla di ipertensione?

Nel descrivere l'ipertensione arteriosa, l'aggettivo “costante” e gli avverbi derivati sono fondamentali, dato che nel corso della giornata la pressione arteriosa può subire delle variazioni transitorie, legate per esempio a:

- L'ora del giorno: la pressione è oggetto di una crescita costante subito dopo il risveglio dal sonno notturno (in cui è particolarmente bassa) e raggiunge il suo apice a mezzogiorno; dopodiché, si abbassa (in genere a causa del pranzo) per poi risalire nuovamente e raggiungere valori discretamente elevati nel tardo pomeriggio.
- L'attività fisica: durante l'esercizio fisico, la pressione arteriosa aumenta; l'entità dell'aumento varia in relazione al tipo e all'intensità dell'esercizio fisico.
- Lo stato emotivo: intense emozioni, stress e ansia possono aumentare temporaneamente la pressione arteriosa; di contro, il rilassamento e i momenti di relax hanno l'effetto opposto, cioè comportano una riduzione temporanea della pressione arteriosa.

In alcuni soggetti e in particolari circostanze, il controllo della pressione arteriosa è fonte di ansia e agitazione; quest'ansia e quest'agitazione possono comportare un innalzamento temporaneo dei livelli pressori, tale per cui i risultati del suddetto controllo sono poco attendibili. Del resto, riporterebbero un aumento della pressione arteriosa che dal punto di vista medico-clinico è di scarsa rilevanza.

## GRADI DI IPERTENSIONE

Esistono diversi gradi di ipertensione:

- Quando l'aumento pressorio supera i 130/85 mmHg ma è inferiore ai 139/89 mmHg, il grado di ipertensione è **lieve** e la condizione in atto è detta più propriamente **pre-ipertensione**;
- Quando l'incremento pressorio supera i 140/90 mmHg ma è inferiore ai 159/99 mmHg, il grado di ipertensione è **tra il lieve e il moderato**, e la condizione risultante prende il nome di **ipertensione allo stadio 1**;
- Quando l'incremento pressorio oltrepassa i 160/100 mmHg ma rimane al di sotto dei 179/109 mmHg, il grado di ipertensione è **tra il moderato e l'elevato** e la condizione in corso è conosciuta come **ipertensione allo stadio 2**;
- Infine, quando l'incremento pressorio è maggiore o uguale a 180/110 mmHg, il grado di ipertensione è **elevato** e la condizione che risulta assume il nome di **ipertensione allo stadio 3** o **crisi ipertensiva**.

Maggiore è il grado di ipertensione e più lo stato di salute del paziente interessato è preoccupante.

## FORME PARTICOLARI DI IPERTENSIONE

Accanto alla forma di ipertensione più tradizionale, in cui sia la pressione arteriosa minima che quella massima superano costantemente i valori normali, esistono forme di ipertensione che potrebbero rientrare alla voce “casi particolari”.

Tra questi “casi particolari”, figurano:

- **L'ipertensione labile:** è la condizione caratterizzata da passaggi improvvisi e imprevedibili della pressione arteriosa da livelli normali a livelli elevati. In altre parole, l'ipertensione labile è la circostanza in cui la pressione arteriosa è protagonista di aumenti improvvisi rispetto alla norma.
- **L'ipertensione diastolica pura** è la condizione in cui l'aumento pressorio riguarda soltanto la pressione minima.
- **L'ipertensione sistolica pura:** è la condizione in cui l'incremento pressorio interessa soltanto la pressione massima.

Il contrario dell'ipertensione è l'ipotensione (o ipotensione arteriosa o **pressione bassa**):

- L'ipotensione è la condizione contraddistinta da valori di pressione arteriosa a riposo inferiori a 90/60 mmHg.  
Rispetto all'ipertensione, l'ipotensione è una condizione decisamente meno preoccupante dal punto di vista medico-clinico; addirittura, in alcune particolari circostanze, rappresenta una condizione benigna, che preserva dalle malattie cardiovascolari.

## REGOLAZIONE DELLA PRESSIONE ARTERIOSA

- **A breve termine:** meccanismi nervosi che attivano risposte parasimpatiche e ortosimpatiche che modulano l'attività cardiaca e le resistenze periferiche.
- **A lungo termine:** di natura umorale, mediata da meccanismi che regolano il volume del liquido extracellulare. Possono infierire su un danno più “pronunciato”.

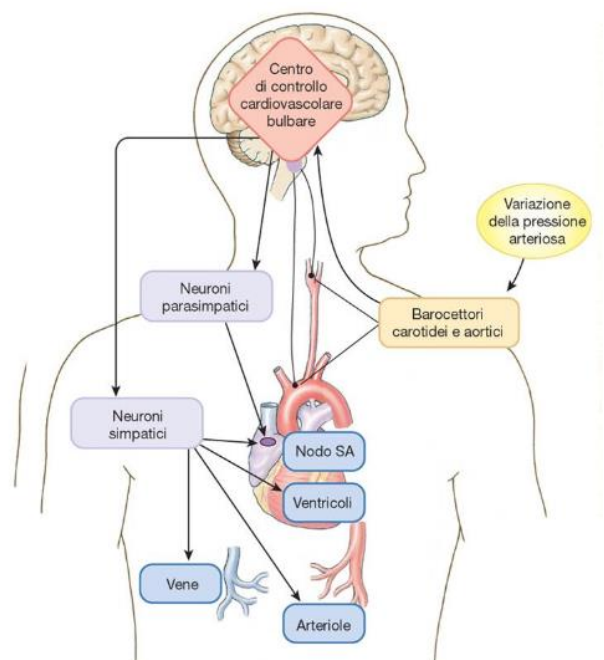
Iniziamo a descrivere uno dei meccanismi di regolazione a breve termine:

### IL RIFLESSO BAROCETTIVO:

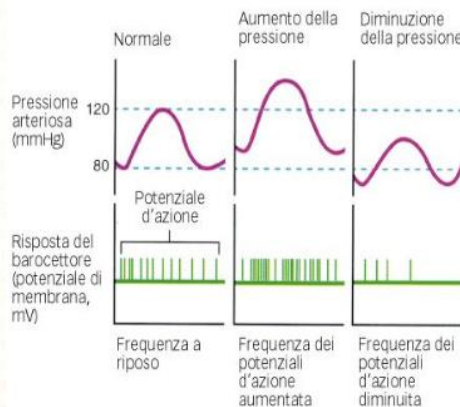
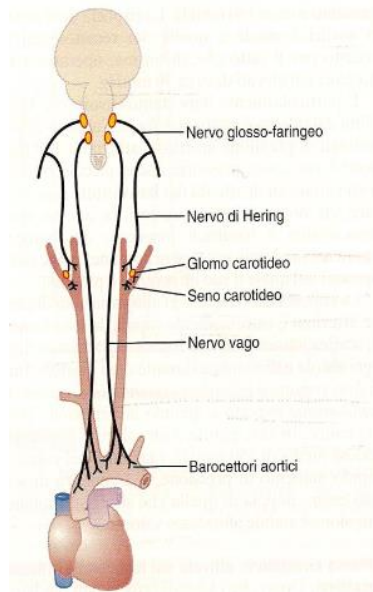
I barorecettori hanno un'elevata sensibilità alla velocità con cui si modifica la PA (pressione arteriosa), quindi **rispondono meglio a rapide variazioni della PA** piuttosto che a pressioni elevate, ma stazionarie.

Essi presentano un **adattamento** molto rapido (se persiste l'incremento di PA la loro frequenza di scarica si riduce progressivamente fino ai valori pre rialzo pressorio = resetting recettoriale).

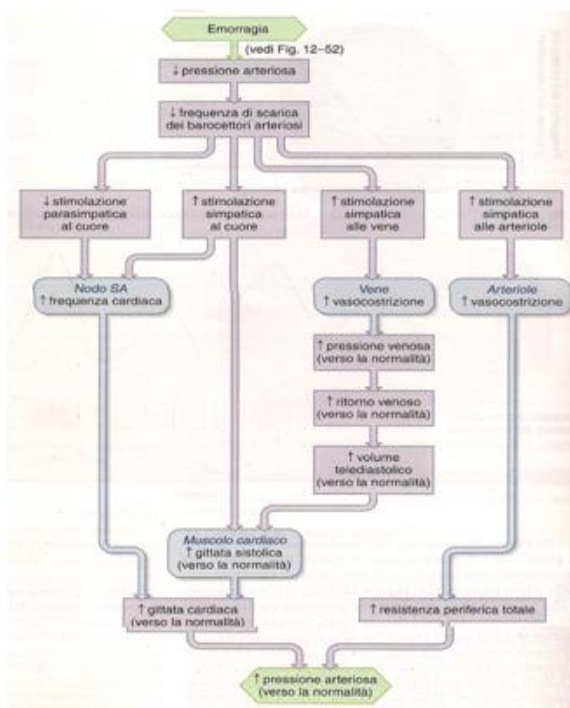
Sono presenti a livello **aortico** e comunicano col centro di controllo cardiovascolare **bulbare**. Questi recettori sono degli INIBITORI, tengono il centro cardiovascolare sotto controllo e regolano la nostra pressione con un meccanismo molto rapido.



Quindi nel momento in cui c'è un **aumento di pressione arteriosa**, l'attività dei barocettori aumenta: essi inibiscono il centro di controllo cardiovascolare bulbare, riducendo l'attività del simpatico e aumentando l'attività del parasimpatico, ottenendo come risultato un abbassamento della pressione arteriosa. Successivamente attraverso un meccanismo a **feedback**, se la pressione arteriosa si abbassa troppo, viene bloccata l'azione d'inibizione dei barocettori.



Quando abbiamo invece una **riduzione della pressione arteriosa** (ad esempio quando ci si alza velocemente la mattina dopo esser stati 7/8 ore sdraiati, e avvertiamo un calo di pressione), i barocettori aumentano l'attività del simpatico e riducono l'attività del parasimpatico (al contrario di ciò che abbiamo spiegato prima), inducono quindi vasocostrizione, aumentano la frequenza cardiaca e quindi la pressione. Noi, quindi, ritornando all'esempio del risveglio al mattino, riusciamo ad alzarci velocemente perché questa regolazione è A BREVE TERMINE.



Il riflesso barocettivo si attiva anche in presenza di emorragia.

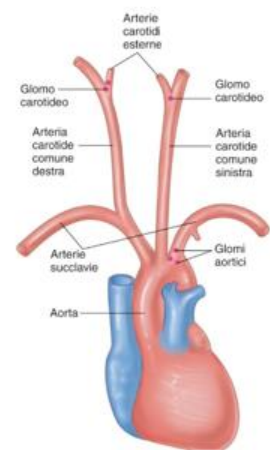
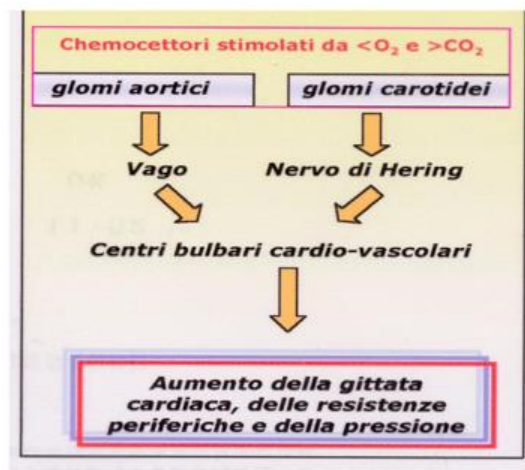
La perdita di liquidi, in questo caso di sangue, viene avvertita con il calo della pressione arteriosa; questo calo induce i barocettori a ridurre la stimolazione parasimpatica a favore di quella simpatica. Inoltre, vanno a controllare anche le arteriole, ed inducono vasocostrizione che ha la funzione di alzare la pressione.

## RIFLESSO CHEMOCETTIVO

Si tratta di un riflesso sempre a breve termine.

I chemocettori, come abbiamo già studiato, sono dei recettori sensibili a delle variazioni chimiche. In questo caso le sostanze coinvolte sono l'ossigeno ( $O_2$ ) e l'anidride carbonica ( $CO_2$ ). Sono coinvolti i glomi aortici e i glomi carotidei: andando a stimolare i centri bulbari cardio-vascolari consentono l'aumento della gittata cardiaca, delle resistenze periferiche e della pressione.

### Regolazione della pressione arteriosa: riflesso chemocettivo



## CONTROLLO DEL VOLUME EMATICO: REGOLAZIONE A LUNGO TERMINE

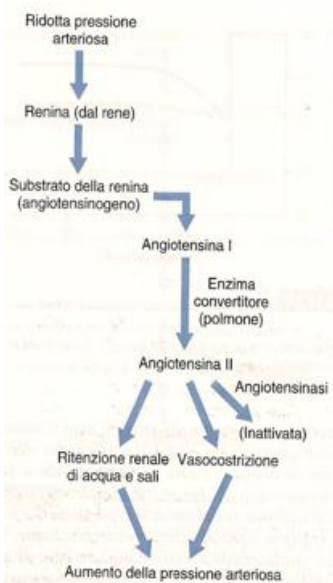
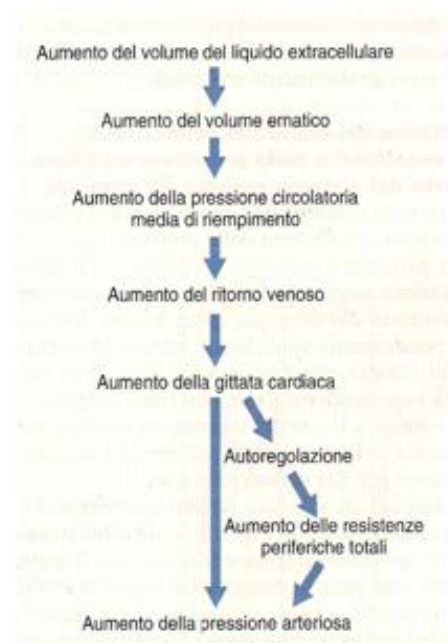
Questo tipo di regolazione non è una *regolazione* step – by – step ma avviene nel corso del tempo.

L'aumento di acqua aumenta lo stiramento dei volocettori (recettori che rispondono ai cambiamenti di tensione della parete atriale e ventricolare).

Essi inibiscono l'ADH (ormone antidiuretico) per cui l'acqua viene meno riassorbita a livello del rene e comporta un aumento della minzione permettendo il ritorno ad una condizione normale.

Tuttavia, una forte diminuzione di acqua potrebbe influire sul volume totale dei liquidi. A livello ipotalamico viene aumentata la sete per compensare tale perdita.

Al contrario, se è presente disidratazione (perdita di liquidi), i volocettori captano che sta avvenendo una perdita di liquidi; per cui viene stimolata la produzione di ADH che a livello renale fa sì che venga assorbita più acqua; questo comporta urine più concentrate.



### SISTEMA RENINA – ANGIOTENSINA – ALDOSTERONE

Si tratta di un sistema sempre a lungo termine.

Nel caso di ridotta pressione arteriosa: il rene ha anche una funzione endocrina, esso produce RENINA, enzima che ha come bersaglio l'ANGIOTENSINOGENO che produce l'ANGIOTENSINA I.

La presenza di un enzima convertitore presente nel polmone converte l'angiotensina I in ANGIOTENSINA II che svolge la funzione di potente vasocostrittore sui vasi e comporta ritenzione idrica, aumentando così la pressione arteriosa.

## CAPILLARI

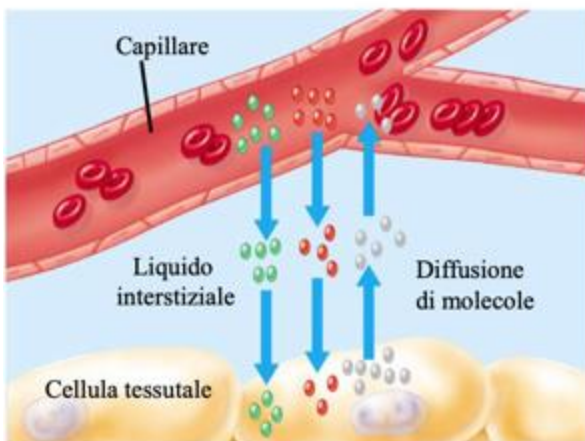
A livello dei capillari il controllo del sangue avviene per mezzo di alcuni sfinteri di muscolatura liscia che contraendosi o rilassandosi possono favorire o meno il passaggio del sangue nel letto capillare.

Esistono diversi tipi di endoteli che vanno a definire poi rispettivi capillari:

- **Endotelio continuo:** è il tipo di endotelio più diffuso in questi vasi ed è quello meno permeabile; lo troviamo nel connettivo, nel tessuto nervoso, nei muscoli, nelle ghiandole esocrine e nei polmoni
- **Endotelio fenestrato:** presenta una permeabilità selettiva intermedia rispetto agli altri due; lo troviamo in particolare nel glomerulo renale, nell'intestino e nelle ghiandole endocrine
- **Endotelio sinusoidale:** è il tipo più permeabile; è presente nel fegato, midollo osseo, milza e surrene.

## SCAMBI A LIVELLO DEI CAPILLARI

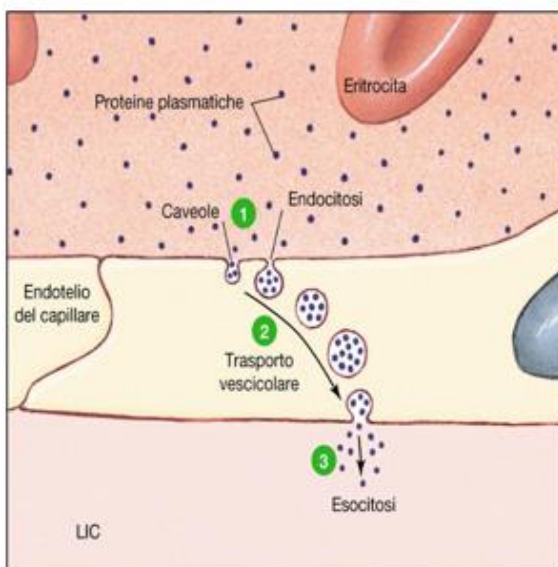
I meccanismi che permettono gli scambi a livello dei capillari sono: diffusione, transitosi, filtrazione e riassorbimento.



### DIFFUSIONE:

I fattori che mediano la diffusione a livello dei capillari sono:

- Grandissima superficie;
- Elevatissima permeabilità;
- Limitata quantità di sangue
- Bassa velocità di scorrimento del sangue nel letto capillare;

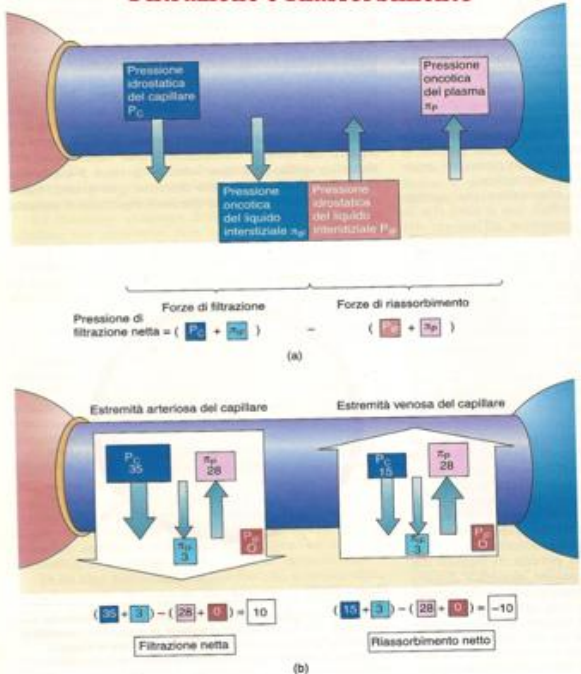


### TRANSCITOSI:

Avviene per mezzo della creazione di vescicole di trasporto che poi sono riversate nel liquido interstiziale; questo tipo di trasporto viene utilizzato solo per molecole particolari di grosse dimensioni;



### Filtrazione e Riassorbimento



### FILTRAZIONE E RIASSORBIMENTO:

In questo processo la forza di spinta (che si associa alle forze di Starling) è data dalla pressione arteriosa; mentre la forza di riassorbimento o di richiamo è dovuta alla pressione oncologica.

*La permeabilità dei pori dei capillari dipende dal peso della sostanza.*

A livello dei capillari vi è uno scambio di gas e di liquidi; non tutto il liquido che esce rientra nei capillari sanguigni; ad evitare l'accumulo di liquido interstiziale se ne occupano i capillari linfatici.

### SISTEMA LINFATICO

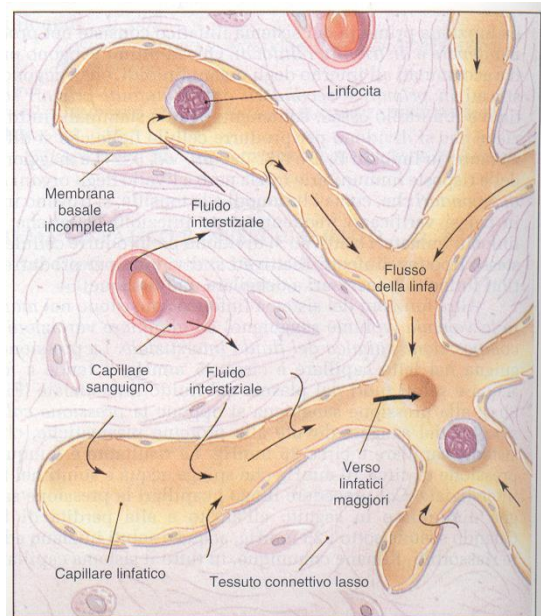
È un sistema parallelo al sistema cardiovascolare. I linfonodi sono delle stazioni intermedie che producono anticorpi e regolano il flusso di liquido interstiziale.

#### CARATTERISTICHE DELLA LINFIA:

Si presenta come un liquido trasparente o leggermente *giallognolo*, isotonico al plasma, se proviene dai villi dell'intestino tenue, è invece lattescente, in quanto ricca di goccioline di grasso finemente sospese che si chiamano chilomicroni.

Le parti che la compongono sono:

- leucociti (funzione immunitaria);
- APC (cellule presentanti l'antigene);
- Matrice cellulare simile al plasma (liquida, contiene proteine);
- Albumine (trasporto, pressione oncologica)
- Globuline (trasporto, funzione immunitaria)
- Fibrinogeno (coagulazione)



Le funzioni del circolo linfatico sono principalmente le seguenti:

1. **Funzione di recupero:** reimmette in circolo le proteine plasmatiche (fino a 1/3 delle proteine plasmatiche totali) e l'acqua (fino a 5L/die) perse dai capillari.
2. **Funzione di assorbimento:** trasporta i chilomicroni dai villi intestinali al circolo sanguigno
3. **Funzione immunitaria:** la linfa viene filtrata nei linfonodi che trattengono gli agenti patogeni.

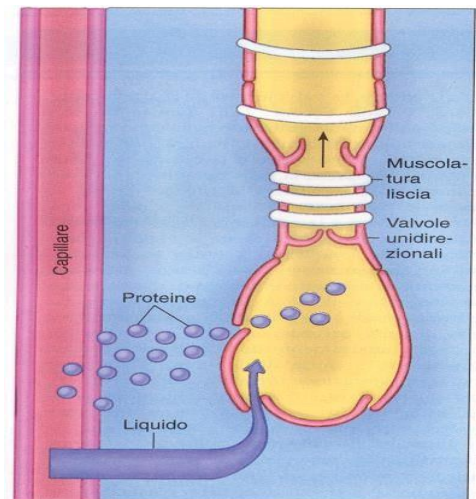
I vasi linfatici sono formati da un endotelio con parete discontinua, da una membrana basale incompleta con ampi spazi nella parete. Nell'intestino tenue raccolgono le micelle lipidiche derivate dagli alimenti. Essi sono assenti nel tessuto nervoso, nella cornea e nelle cartilagini.

## LA LINFA: IL FLUSSO

A differenza del sangue, la **linfa** non viene spinta dall'attività cardiaca, ma scorre nei vasi mossa dall'azione dei muscoli. Contraendosi e rilassandosi, questi tessuti funzionano come una vera e propria pompa.

I vasi linfatici presentano una **scarsa muscolatura liscia** e il flusso della linfa attraverso di essi è dovuto all'azione dei **muscoli scheletrici**. Il ritorno linfatico è ostacolato dalla presenza di numerose valvole unidirezionali a nido di rondine simili a quelle presenti nei vasi venosi.

I vasi linfatici sono inoltre caratterizzati da un inizio a fondo cieco con sbocco nel sistema venoso. Hanno il compito di drenare le componenti fluide che non sono state drenate dal sistema sanguigno ed hanno un'alta permeabilità.



## STRUTTURA DEL SISTEMA LINFATICO

(Il prof non approfondisce gli aspetti anatomici, sotto inserisco il link di un articolo in caso vengano considerati necessari: <https://www.asc-fisioterapia.it/tecniche-di-riabilitazione-2/infodrenaggio-manuale/143-anatomia-del-sistema-linfatico.html>)

Il sistema linfatico è costituito dagli organi linfatici e dai vasi linfatici.

Gli organi linfatici sono suddivisi in:

- **Organi linfatici primari** o centrali: all'interno di questi i linfociti vengono programmati per diventare linfociti T (all'interno del timo) o linfociti B (all'interno del midollo osseo).
- **Organi linfatici secondari**: comprendono i linfonodi, la milza, le tonsille, i follicoli linfatici dei diversi organi, che giocano un ruolo fondamentale nella risposta immunitaria.

Vi sono quattro ordini vascolari a livello del **sistema circolatorio linfatico**, a partire dall'origine del trasporto della linfa fino alla terminazione:

- **Capillari linfatici** (origine a fondo cieco, stretti e sottili);
- **Vasi precollettori**;
- **Vasi collettori**;
- **Tronchi linfatici**;
- **Dotti linfatici**.

## EDEMA

L'edema deriva da aumentato trasferimento di liquidi dallo spazio intravascolare a quello interstiziale o da ridotto movimento di acqua dall'interstizio ai capillari o ai vasi linfatici.

L'edema può interessare una zona circoscritta, come per esempio una gamba oppure può essere generalizzato se si manifesta in tutto l'organismo. In questo caso, prima che l'edema sia clinicamente evidente, devono accumularsi diversi litri di liquido; per questo motivo l'aumento di peso precede generalmente le altre manifestazioni dell'edema. Quando l'edema interessa tutti i distretti corporei si parla di *anasarca*. L'accumulo di liquido nella cavità peritoneale è definito *ascite*.



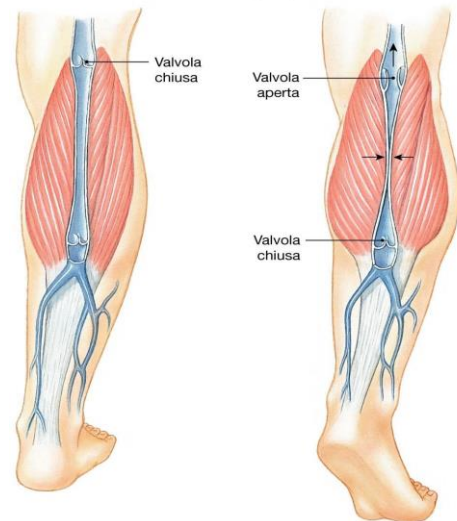
## SISTEMA VENOSO

Il sistema venoso è un sistema di ritorno e di raccolta del sangue. Tra i vari fattori che influenzano il ritorno venoso vi sono:

- **pompa muscolare:** la contrazione della muscolatura scheletrica circostante la vena spinge il sangue verso l'alto, mentre la direzione verso il basso è esclusa dalle valvole a nido di rondine;
- **valvole a nido di rondine** unidirezionali: escludono il ritorno del sangue verso il basso;
- **pompa toraco-addominale o respiratoria:** la pressione intratoracica (endopleurica) e intraddominale variano durante la respirazione; con l'inspirazione il diaframma si abbassa, aumenta la pressione intraddominale e si riduce quella intratoracica. Tale differenza richiama sangue dalle vene toraciche al cuore, e contemporaneamente chiude le valvole delle vene situate al di sotto del diaframma; con l'espiazione, il diaframma si alza, la pressione intraddominale si riduce, si aprono le valvole delle suddette vene.

Le valvole venose impediscono il flusso retrogrado di sangue.

Quando i muscoli scheletrici comprimono le vene, spingono il sangue verso il cuore (pompa muscolare scheletrica).



Quando un paziente manifesta problemi di circolazione gli viene consigliato di camminare, poiché il movimento favorisce il ritorno venoso. Riassumendo, fondamentali per il ritorno venoso sono la **compressione muscolare** e la **pressione intratoracica negativa**.

## MISURAZIONE DELLA PRESSIONE ARTERIOSA - Sfigmomanometro di RIVA-ROCCI

La pressione arteriosa è la pressione esercitata dal sangue, pompato dal cuore, sulla parete delle arterie che distribuiscono il sangue stesso nell'organismo.

Dal momento che il cuore batte ad intervalli regolari, è possibile distinguere una pressione “massima” o “sistolica” che corrisponde al momento in cui il cuore pompa il sangue nelle arterie, ed una pressione “minima” o “diastolica” che corrisponde alla pressione che rimane nelle arterie momento in cui il cuore si ricarica di sangue per il battito successivo.

La misurazione della **pressione arteriosa** è effettuata utilizzando appositi apparecchi che sono in grado di valutare la pressione del sangue dall'esterno. Di tali apparecchi, quello più preciso e comunemente usato sino ad ora è lo sfigmomanometro a mercurio, ideato dall'italiano Riva-Rocci poco più di un secolo fa. Esso è composto da un bracciale di gomma collegato da un lato ad una piccola pompa a mano, dall'altro ad un manometro a colonna di mercurio. Poiché lo strumento ideato da Riva-Rocci era dotato di una colonna in vetro contenente mercurio e sulla quale era indicata la distanza espressa in millimetri, tradizionalmente l'unità di misura con cui si riportano i valori di pressione arteriosa massima e minima è definita come “millimetri di mercurio” (mmHg).

La misurazione viene effettuata applicando il manicotto di gomma al braccio del paziente, tra l'ascella e la piega del gomito. All'altezza di quest'ultima, dove si apprezza la pulsazione dell'arteria del braccio (arteria omerale) si posiziona la campana del fonendoscopio, cioè dello strumento destinato a raccogliere e trasmettere all'orecchio i rumori generati dal passaggio di sangue nell'arteria stessa. Contemporaneamente si palpa il polso dal lato del pollice, per percepire la pulsazione dell'arteria radiale.

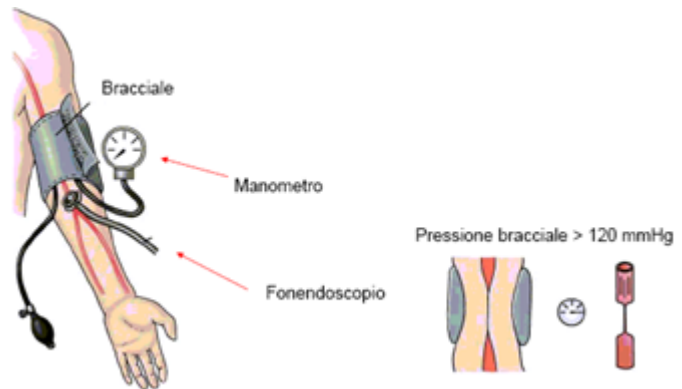
Si inizia la misurazione gonfiando il bracciale di gomma con la pompetta ad esso collegata (mentre ciò avviene, il mercurio sale nella colonnina di vetro, segnalando il valore di pressione presente nel bracciale) e arrivando fino al punto in cui la pulsazione dell'arteria del polso scompare ed il fonendoscopio non trasmette più alcun rumore; a questo punto si insuffla ancora un po' di aria nel bracciale, superando di circa 20 mmHg il punto in cui il polso radiale è scomparso. Ora, agendo sulla piccola valvola presente sulla pompetta, si fa uscire molto lentamente l'aria dal bracciale (indicativamente, la colonnina di mercurio deve scendere di circa 2 millimetri al secondo). Quando la pressione dell'aria nel bracciale sarà uguale a quella arteriosa, un po' di sangue riuscirà a passare nell'arteria producendo un rumore: il primo rumore udito chiaramente corrisponderà alla **PRESSIONE SISTOLICA** (detta anche **MASSIMA**). Riducendo ulteriormente la pressione i rumori diventeranno inizialmente più intensi, quindi via via più deboli: la completa scomparsa dei rumori corrisponderà alla **PRESSIONE DIASTOLICA** (detta anche **MINIMA**).

La pressione viene quindi indicata con due valori (ad esempio 120/80): il primo valore indica la pressione sistolica, mentre il secondo quella diastolica.

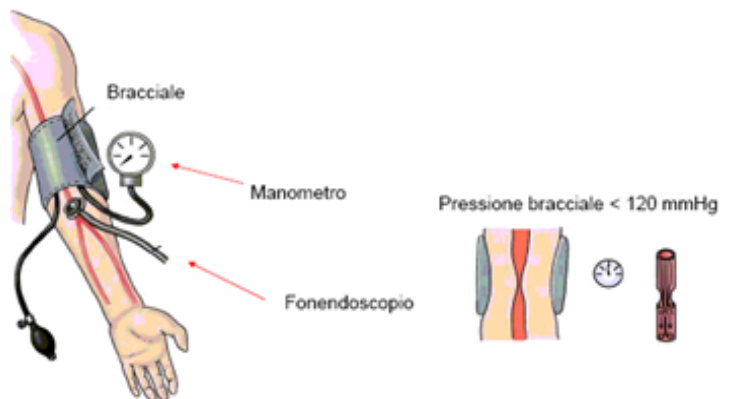
**Tappe della misurazione:**

Si gonfia il bracciale, posto intorno al braccio sinistro, con una P certamente superiore al valore della P sistolica (Ps). La P del bracciale (Pb), letta sul manometro, si trasmette all'arteria, occludendola.

Contemporaneamente si posa un fonendoscopio sul decorso dell'arteria omerale, a valle del bracciale, in corrispondenza della piega del gomito.

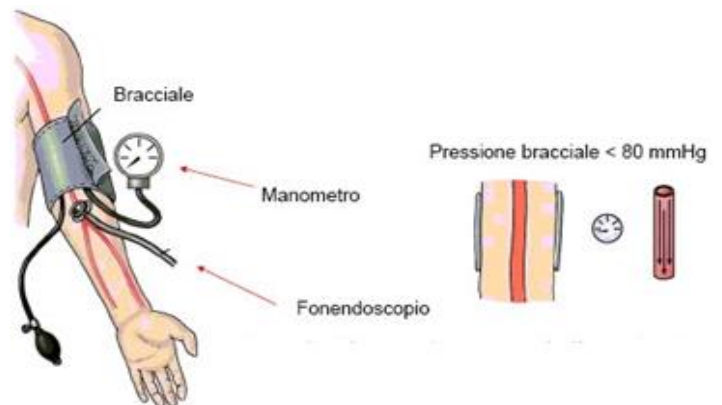


Si sgonfia quindi lentamente il bracciale. All'improvviso si sentirà un primo rumore breve e schioccante, in coincidenza con ogni battito cardiaco (rumore di Korotkow). Il valore di Pb, in questo momento, è il valore di Bracciale Ps.



Quando la Pb scende appena al di sotto della Ps, il vaso si apre di poco e per un istante. Il flusso di sangue attraverso il vaso ristretto diventa turbolento a valle della stenosi, generando il rumore udibile con il fonendoscopio. La turbolenza continua fino a quando il bracciale chiude il vaso per una parte del ciclo cardiaco.

Man mano che si riduce la Pb, il rumore diventa più prolungato, fino a trasformarsi in un fruscio continuo e scomparire del tutto. Il valore di Pb, in questo momento, è il valore di Pd. Quando Pb scende sotto Pd, l'arteria rimane sempre aperta, la turbolenza cessa e i rumori scompaiono.

**PRINCIPI DI EMODINAMICA**

L'emodinamica è l'idrodinamica applicata alla circolazione del sangue.

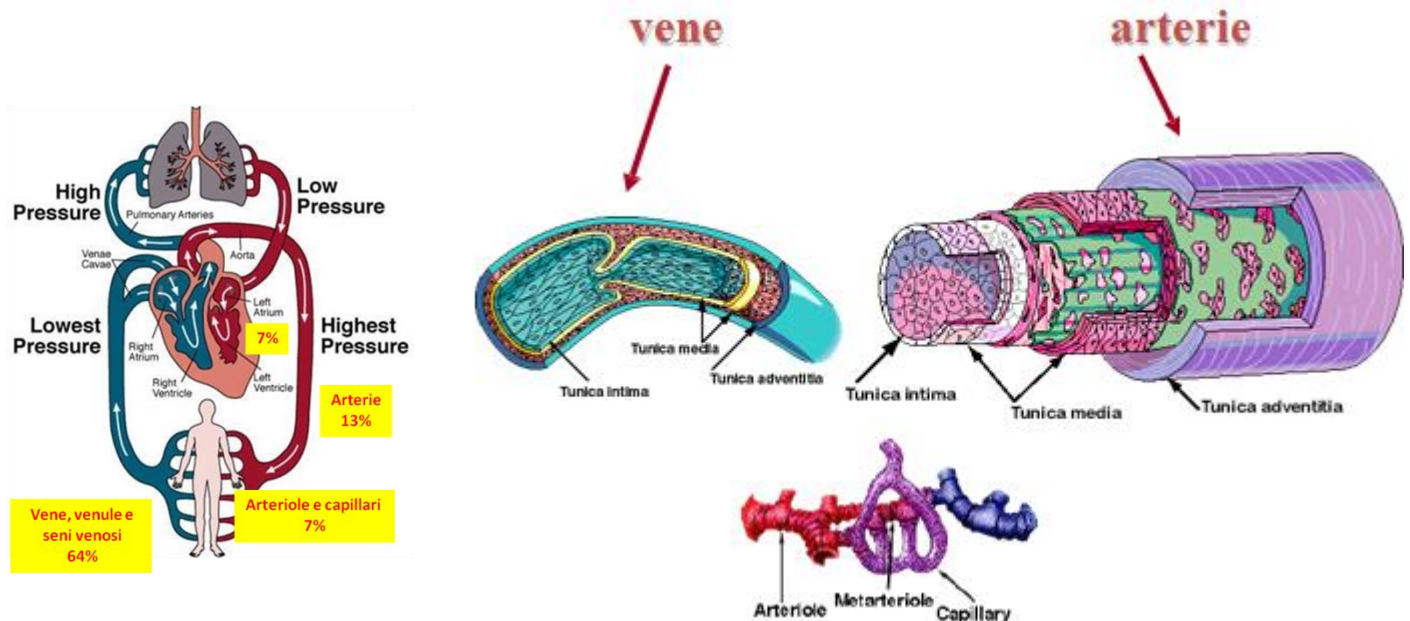
Le grandezze e i concetti utilizzati in emodinamica sono: **velocità, pressione, densità, flusso e resistenza**



Alcune considerazioni:

Circuito idraulico costituito da condotti di calibro differente e due pompe in serie (atrio-ventricolo destro; atrio-ventricolo sinistro) unite nel cuore.

1. In un circuito idraulico chiuso alimentato da una pompa intermittente il flusso si mantiene se il volume che esce dalla pompa ritorni immediatamente alla pompa per rifornirla. Per questo il circuito è colmo di liquido (non vi sono zone di vuoto) ed è necessario che il volume del fluido presente sia almeno uguale al volume del contenitore (l'albero circolatorio).
2. I vasi devono essere in grado di accogliere il volume pulsatorio e restituirlo alla pompa. Per questo i vasi devono essere dilatabili ed elastici (il ritorno elastico mantiene il flusso costante anche nell'intervallo fra le pulsazioni).
3. I vasi elastici sono cedevoli e quindi anche la forza di gravità può indurre spostamenti del liquido circolante quando il sistema cambia posizione nello spazio.

**STRUTTURE VASCOLARI****PROPRIETÀ DELLE PARETI VASCOLARI**

- **Distensibilità (o compliance):** è la grandezza che esprime la capacità che hanno i vasi sanguigni di dilatarsi elasticamente sotto l'effetto di una pressione sanguigna crescente, per poi restringersi restituendo il volume di sangue accumulato sotto l'effetto di una pressione sanguigna decrescente. Viene definita come segue:

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

- $\Delta V$  è la variazione di volume;
  - $\Delta P$  è la variazione di pressione, ovvero la differenza tra la pressione intravasale e la pressione esterna al vaso.
- **Rigidità:** è data dal rapporto tra la variazione di pressione e la variazione di volume, rappresenta la riposta del vaso sanguigno soggetto a pressione:

$$Rigidità = \frac{\Delta P}{\Delta V}$$

- **Elasticità della parete:** grazie ad essa i vasi sanguigni rispondono alla distensione;
- **Tensione della Parete:** la tensione parietale, T, dipende dalla pressione e dal raggio del condotto, r, secondo l'equazione:

$$T = P * r \text{ (legge di Laplace)}$$

I fattori biofisici che sostengono la circolazione sono la:

- Pressione propulsiva della pompa;
- Pressione di riempimento dell'apparato cardiovascolare;
- Pressione idrostatica, che è influenzata sia dalle caratteristiche fisiche e geometriche dei condotti che dalle proprietà reologiche (viscosità e densità) del sangue;

Poiché il flusso circolatorio è garantito solo se il sistema è in condizioni di “troppo pieno”, l'omeostasi del circolo è garantita dalla congruità tra il volume ematico circolante e la dimensione del letto vascolare

## **IL FLUSSO**

Il flusso rappresenta la quantità di sangue che passa nell'unità di tempo attraverso un vaso o una sezione dell'apparato cardiovascolare:

$$- \quad F = V * S_{vaso} \quad \text{cm/s} * \text{cm}^2 = \text{cm}^3/\text{s} = \text{ml/s}$$

La gettata cardiaca è la quantità di sangue che i ventricoli sx e dx pompano rispettivamente nell'aorta e nell'arteria polmonare nell'unità di tempo:

$$- \quad Gc = Gs * n$$

## LEGGE DI POISEUILLE

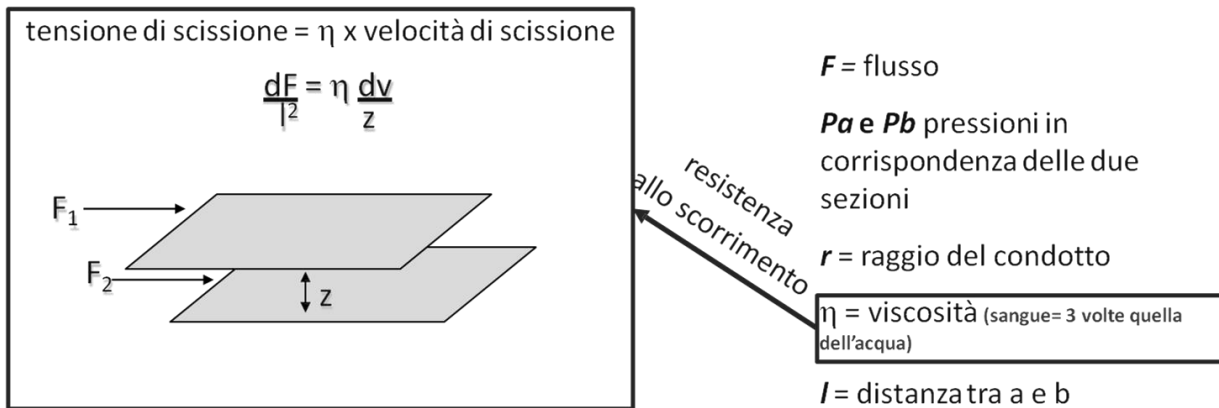
La legge che governa l'emodinamica è la legge di Poiseuille, la quale afferma che:

Il flusso  $F$  di un liquido che scorre in un tubo è direttamente proporzionale al gradiente o differenza di pressione  $P$  alle due estremità ( $a$  e  $b$ ) del tubo per la quarta potenza del raggio  $r$  del tubo ed inversamente proporzionale al prodotto della viscosità  $\eta$  (eta) per la lunghezza  $l$  del tubo:

$$F = \frac{\Delta P}{R}$$

$$F = \frac{(Pa - Pb)\pi r^4}{8\eta l}$$

$$R = \frac{\eta l}{\pi r^4}$$



## RESISTENZA IDRAULICA DI UN SINGOLO VASO

Lo scorrimento del sangue lungo i vasi può essere più o meno difficoltoso a seconda delle resistenze che incontra. Se le  $R$  sono basse il sangue scorre più facilmente se le  $R$  sono elevate il sangue scorre con maggiore difficoltà. Il calibro del vaso può influire notevolmente sullo scorrimento poiché il sangue attraversa i vasi insieme a tutte le sue componenti.

La resistenza viene calcolata come:

$$R = \frac{\eta l}{\pi r^4}$$

$$R = \frac{1}{\text{conduttanza}} \quad \text{in cui la conduttanza } C = \frac{\pi r^4}{8\eta l}$$

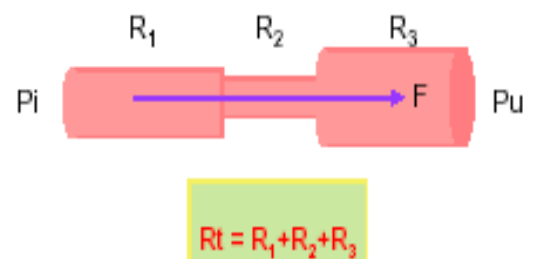
$$R = \frac{\eta l}{\pi r^4} \quad F = \frac{(Pa - Pb)\pi r^4}{8\eta l} \quad F = \frac{\Delta P}{R}$$

Un altro elemento che influenza il passaggio di sangue nei vasi è la disposizione degli stessi, in serie o in parallelo.

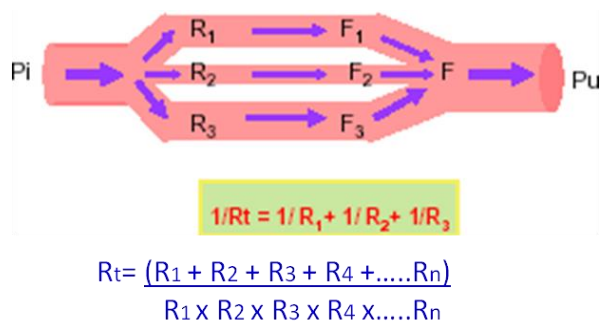
### - Resistenze in condotti posti in serie

Le singole resistenze distrettuali, che insieme formano le resistenze periferiche totali, sono disposte tra loro in parallelo.

Se una resistenza viene portata all'infinito anche la



somma delle resistenze sale all'infinito ed il flusso cesserà.



### - Resistenze in condotti posti in parallelo

Se una resistenza viene portata all'infinito il liquido non cessa il suo flusso.

In un circuito in parallelo  $R_t$  dipende da raggio e numero dei vasi:

$$R = \frac{\eta l 8}{\pi r^4}$$

Nel sistema vascolare la resistenza più elevata (e quindi la maggiore caduta di pressione) è nelle arteriole e non nei capillari. Infatti, i capillari hanno un diametro complessivo totale molto maggiore di quello delle arteriole, anche se il calibro dei singoli vasi è più piccolo.

L'aumento anche all'infinito delle resistenze distrettuali, molto rappresentate a livello circolatorio, ha scarsa importanza sulle resistenze totali e quindi sulla pressione.

### PRESSIONE ARTERIOSA MEDIA

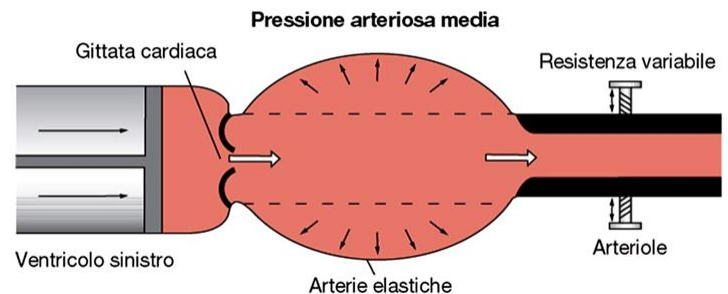
Se  $F = \frac{\Delta P}{R}$ :

Possiamo affermare che la pressione è data dal prodotto del flusso per la resistenza:  $P = F \cdot R$

Nell'apparato cardiovascolare la  $P$  è la pressione arteriosa media, il flusso  $F$  è la  $G_c$  ed  $R$  è costituita dalle resistenze periferiche totali  $R_{pt}$ .

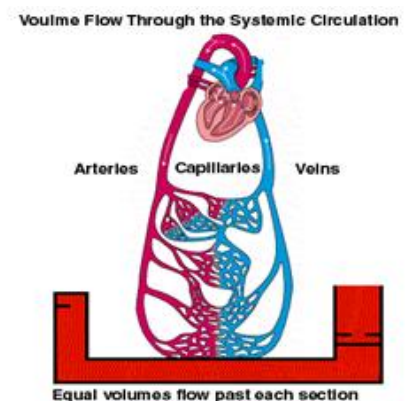
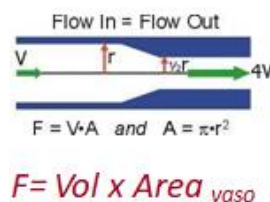
Poiché la  $G_c$  è data da  $G_s \cdot n$ , la formula della pressione è:

$$Pa = G_s \cdot n \cdot R_{pt}$$



### VARIAZIONI DI FLUSSO

Le variazioni di flusso si hanno grazie all'area del vaso stesso e il cambio di calibro, per vasodilatazione e vasocostrizione, determina una riduzione o un aumento di flusso a livello degli organi.



## VARIAZIONI DI VELOCITÀ

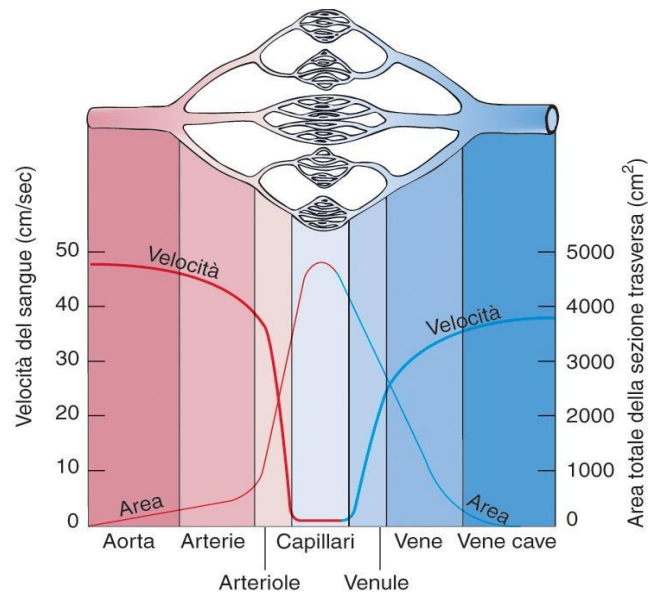
La velocità con cui passa il sangue nel sistema è dovuta al flusso e all'area della sezione del vaso. È dunque rappresentata mediante il seguente rapporto matematico:

$$velocità = \frac{F}{A} = \frac{cm^3/s}{cm^2} = \frac{cm}{s}$$

### Variazione di sezione totale e di velocità di flusso nei vari distretti del sistema circolatorio:

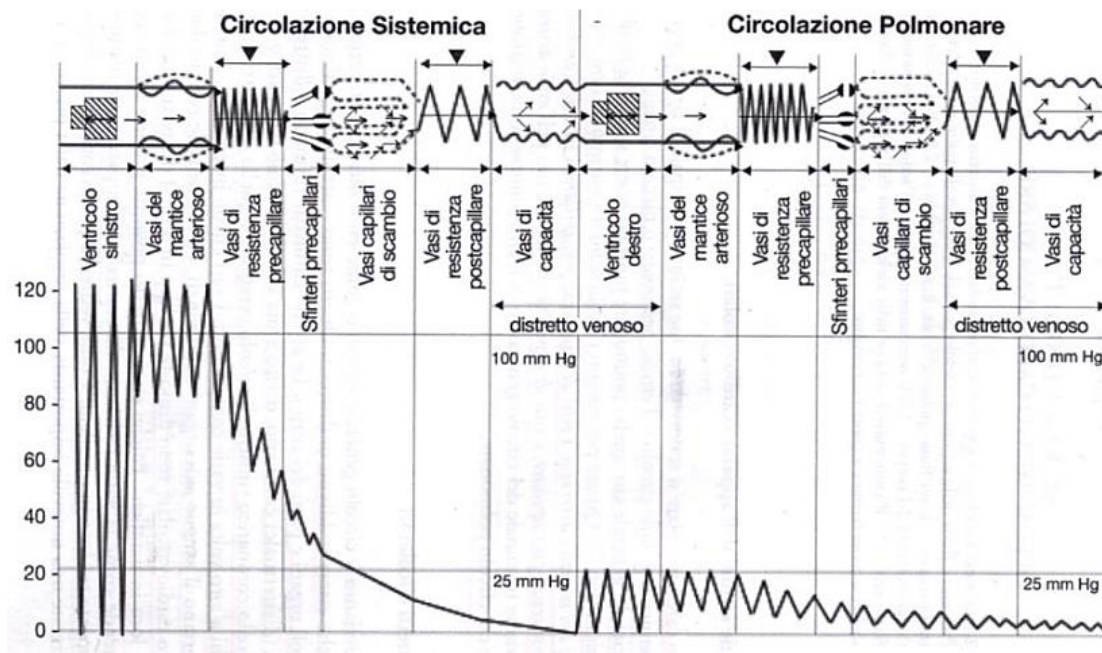
Maggiore sarà l'area totale, minore sarà la velocità del sangue.

La velocità minore è a livello del letto capillare.



L'andamento della pressione arteriosa dipende dal vaso, in particolare dalla struttura del vaso.

Prendendo come riferimento l'aorta addominale: essa raccoglie il sangue con minore resistenza ma con pressione molto elevata; nel momento in cui l'aorta addominale si dilata e con essa le arteriole, la pressione si modifica.



Si osserva nel grafico sopra l'andamento della pressione:

- nel ventricolo sinistro si descrive una maggiore pressione sistolica pari a 120 mmHg
- nei vasi della matrice arteriosa si descrive una oscillazione tra 120/80 mmHg
- nella circolazione sistemica la pressione si abbassa fino a raggiunge i 25/0 mmHg
- si denota un ritorno della pressione, seppur ridotto, nella circolazione polmonare dove è presente una minore resistenza periferica



## MODALITÀ DI SCORRIMENTO DEL SANGUE

Si distinguono due tipi di flussi, già discussi quando si è parlato dell'aria a livello tracheale:

- Il **flusso laminare** avviene soprattutto a carico dei vasi di piccolo calibro, dove il sangue si dispone in *come delle lamine* in cui la parte centrale viaggia più velocemente rispetto a quella periferica, in quanto la parte periferica ha più attrito con la parete del vaso, dunque, rallenta il flusso.
- Il **flusso turbolento** avviene nei grossi vasi, le cellule viaggiano in uno spazio libero, quindi, possono *roteare* creando questo flusso turbolento (che viene maggiormente favorito quando i vasi presentano un'ostruzione o biforcazioni).

Nel *flusso laminare*, nello specifico, il liquido si considera suddiviso in tante lamine circolari concentriche che scorrono le une sulle altre in senso assiale a diversa velocità. Attraverso il **numero di Reynolds** è possibile calcolare la distribuzione del sangue a livello del vaso. Il numero di Reynolds afferma che:

- la velocità del sangue, la densità e il diametro del vaso sono inversamente proporzionali alla viscosità del sangue, dunque, in base alla densità del sangue possiamo comprendere la funzione lamellare a livello dei piccoli vasi.

$$N_R = \frac{\rho v d}{\eta}$$

**Numero di Reynolds**  
 $v$  = velocità del sangue;  $\rho$ , = densità;  $\eta$   
 = viscosità;  $d$  = diametro

Nel *flusso turbolento*, invece, abbiamo un fattore noto come velocità critica dovuta al fatto che il sangue si muova in modo turbolento e disorganizzato nei grossi vasi.

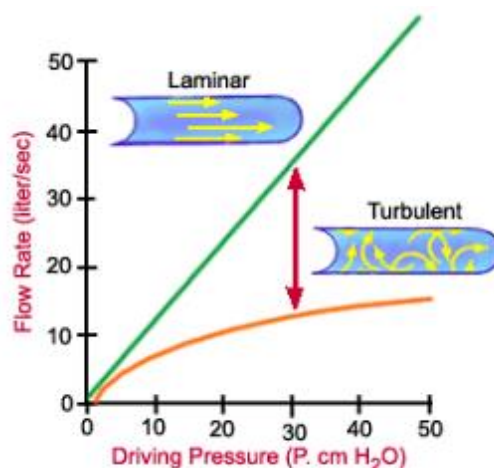
La velocità critica è direttamente proporzionale al numero di Reynolds e alla viscosità mentre è inversamente proporzionale al raggio e alla densità

$$V = R\eta / \rho r$$

Fisiologicamente il sangue scorre in moto laminare, diventa turbolento solo in alcune condizioni; se il numero di Reynolds supera il valore 2000 siamo in un flusso turbolento altrimenti è definito flusso laminare.

In questo grafico formato dalla **pressione** sull'asse delle ascisse e dalla **portata** sull'asse delle ordinate, si nota che: la pressione nei vasi più piccoli è laminare mentre nei vasi più grandi è turbolenta.

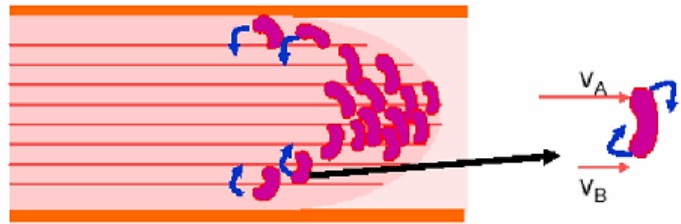
Mediante queste formule possiamo stimare se in un dato vaso dobbiamo aspettarci un flusso laminare o turbolento.



## FENOMENO DEL PLASMA SKIMMING

Il fenomeno del *plasma skimming* è dovuto alla capacità del sangue di adattarsi affinché il flusso non venga in alcun modo ostacolato. Per cui al centro “del flusso” si posizionano le parti più pesanti (cellule e proteine) mentre ai lati si posizionano le parti del sangue che creano meno attrito con la parete, di modo che non si presentino problematiche di passaggio dovute ad un eccessivo attrito.

La risultante delle forze propulsive (pressorie) e delle forze resistive (dovute alla viscosità del sangue) determina una rotazione dei globuli rossi antioraria nella parte superiore dei vasi e oraria nella parte inferiore dei vasi, causando un accumulo di globuli rossi verso l'asse centrale del vaso. Si forma, da questo meccanismo, una parabola che riduce l'attrito a livello periferico.



## VISCOSITÀ DEL SANGUE:

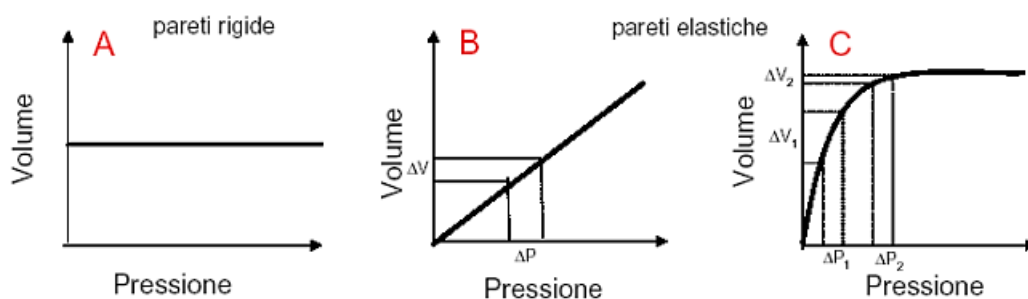
La **viscosità** del sangue dipende:

- Dall'ematocrito, ossia il rapporto tra la porzione liquida del sangue (plasma) e quella corpuscolata (una maggiore presenza della porzione corpuscolata aumenta la viscosità del sangue).
- Dal calibro del vaso: la viscosità diminuisce nei vasi dal calibro minore (Effetto Fahraeus-Lindqvist, si osserva in particolare nelle arteriole) mentre tende ad aumentare nei vasi dal calibro maggiore.

*Il gradiente di velocità per i globuli rossi posti in periferia è maggiore nei vasi piccoli che in quelli più grandi, questo fa sì che la porzione periferica di sangue (povera di globuli rossi) rappresenti una quota percentuale maggiore nei vasi di calibro ridotto.*

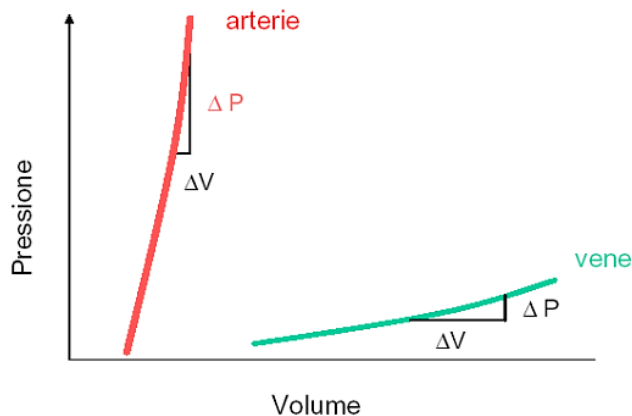
Altra caratteristica è la **distensibilità dei vasi sanguigni**: la variazione del volume del vaso dipende dalla capacità del vaso di poter rispondere con un aumento o una riduzione del proprio calibro.

Il grado di distensibilità di un sistema si valuta analizzando le variazioni di volume indotte da modificazioni della pressione che si esercita sulla parete.



- Nelle pareti rigide al variare della pressione il volume del vaso non si modifica.
- Nelle pareti elastiche il volume cresce linearmente con la pressione (la parete cede gradualmente alla forza pressoria). La pendenza della curva misura il grado di distensibilità (o compliance) pari al rapporto tra la variazione del volume ( $\Delta V$ ) e la variazione della pressione ( $\Delta P$ )
- La stessa variazione pressoria, invece, nelle pareti elastiche, produce differenti variazioni di volume. La diversa pendenza, nei due tratti della curva, indica il diverso grado di compliance. Questo è dovuto al fatto che alcuni vasi hanno una capacità di distensione che una volta raggiunto un limite massimo, nonostante l'aumento pressorio non corrisponde una variazione di volume. (asintoto)

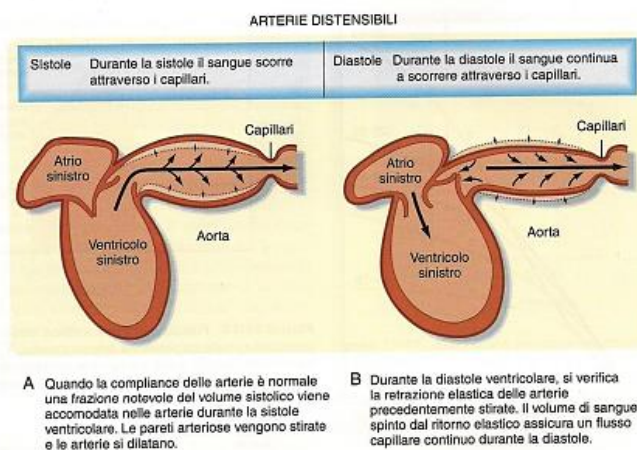
## COMPLIANCE



La compliance è circa 20 volte maggiore nelle vene che nelle arterie. Questo perché le vene possono accogliere volumi di sangue maggiori (per la componente elastica) con piccole variazioni di pressione al loro interno. La compliance varia in relazione alle caratteristiche del cuore e all'alternanza di sistole e diastole.

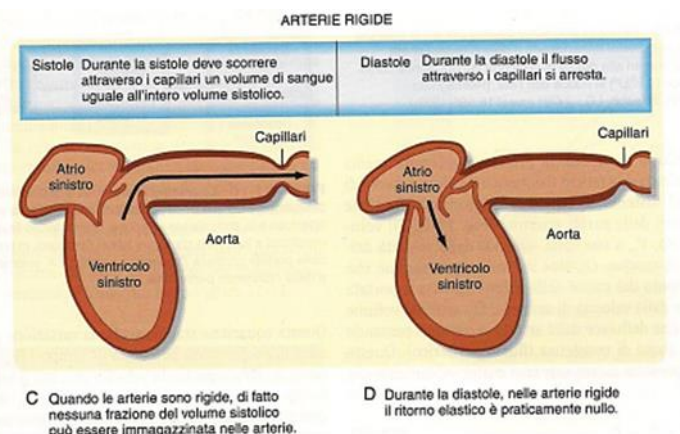
Se le arterie sono distensibili la risposta è lineare.

(Leggere schema a sx)



Se le arterie sono rigide: durante la sistole il sangue dovrà scorrere in un condotto rigido quindi la risposta sarà più difficoltosa all'aumento della pressione arteriosa, di conseguenza si influenza notevolmente il volume totale.

(Leggere schema a dx)





La Legge di Laplace afferma che:

- la tensione circonferenziale dipende dalla pressione trasmurale e dal raggio.

$$P = \frac{2T}{r}$$

**T = tensione circonferenziale**  
**Pt = (Pi-Pe) = pressione trasmurale (tende a dilatare il condotto)**  
**r = raggio**

$$T = Pt \cdot r$$

**T = tensione circonferenziale**  
**Pt = (Pi-Pe) = pressione trasmurale (tende a dilatare il condotto)**  
**r = raggio**

I In questo caso, si è visto che le pareti di un vaso di grande diametro devono avere una robustezza maggiore di quelle di un vaso di piccolo diametro, in quanto devono sopperire a importanti pressioni. Applicando la legge di Laplace al cuore (dove r rappresenta il raggio medio e T la tensione muscolare) è possibile spiegare l'insorgenza dello scompenso cardiaco.

Quando la pressione a livello del cuore aumenta costantemente, l'organo risponde andando incontro all'**ipertrofia compensatoria**; ad un certo momento, però, verrà raggiunto e poi superato il massimo della distensione il che si tradurrà in una flaccidità del muscolo e conseguente scompenso del cuore (non riesce più a sopperire all'aumento di pressione).

L'ipertrofia che ne deriva comporta il superamento della Legge di Starling ed il prevalere della Legge di Laplace, il cuore cerca di compensare con un aumento di carico del sangue e di conseguenza aumenta la pressione; superata la soglia di distensione delle fibre, le fibre si distendono completamente e si perdono le connessioni elastiche.

La Legge di Laplace spiega, inoltre, perché aneurismi e varici aumentano sempre più rapidamente di volume. Un vaso che ha un tratto dilatato presenta un aumento del raggio e a parità di pressione presenta in quel tratto un aumento della tensione circonferenziale che tende a far aumentare ulteriormente il raggio, determinando un feedback positivo che può anche portare alla rottura del vaso.

Il Teorema di Bernoulli, d'altro canto, spiega perché aneurismi e varici aumentino con velocità sempre crescenti:

$$\frac{1}{2}mv^2 + P = K$$

Poiché la somma dell'energia cinetica e della pressione rimane costante, si comprende come nel tratto dilatato la pressione P risulti aumentata. Ne consegue che in un aneurisma o in una varice, oltre all'aumento del raggio (legge di Laplace), anche l'aumento della pressione (teorema di Bernoulli) contribuisca all'aumento della tensione circonferenziale.

*Prendiamo come esempio la parete del vaso con aneurisma, parete che ha ormai perso la sua elasticità in quanto è stata alterata, si crea un circolo vizioso tra la Legge di Laplace e il teorema di Bernoulli. Un vaso con l'aneurisma risponde di meno al circolo dell'emodinamica ed è più facilmente soggetto alla rottura poiché la parete trasmurale non riesce più a compensare l'aumento pressorio (se arriva un picco pressorio troppo elevato la parete si lacera perché è assente la forza contraria).*