



Principi di bioingegneria

Lezione 7

Uomo standard

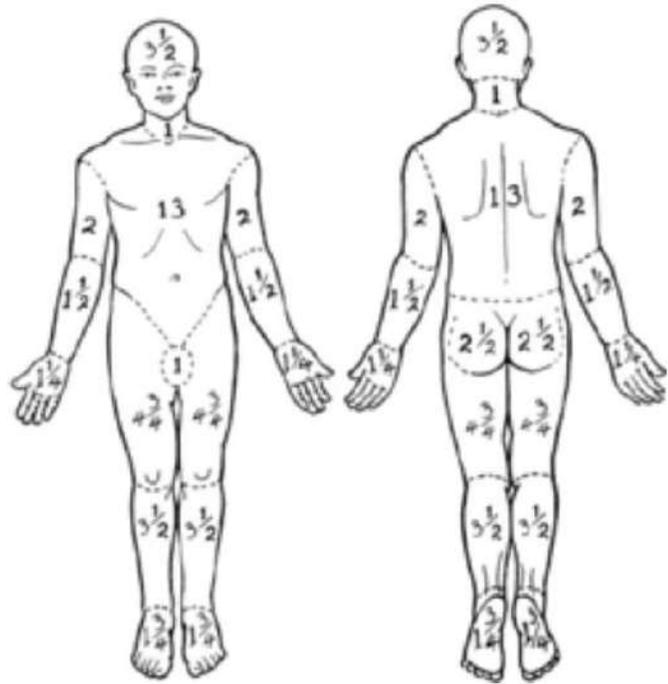
Gabriele Maria Fortunato

gabriele.fortunato@unipi.it



Parametri	Valori
Età	30 anni
Altezza	1.73 m
Peso	68 Kg
Area della superficie corporea	1.80 m ²
Temperatura normale del <i>core</i> del corpo	37 °C
Temperatura normale media della pelle	34.2 °C
Calore specifico	0.86 Kcal Kg ⁻¹ °C ⁻¹
Percentuale di grasso nel corpo	12%
Strato di grasso sottocutaneo	5 mm

Calcolo della superficie corporea



Con **superficie corporea**, solitamente indicata con **BSA** (acronimo di *Body Surface Area*), si intende una stima della superficie totale del corpo di una persona e viene espressa in **metri quadrati** (simbolo m^2). Solitamente si ricorre al **calcolo della superficie corporea** per stilare terapie farmacologiche o per calcolare il **metabolismo basale**, e quindi fornire un piano nutrizionale utile a soddisfare il **fabbisogno calorico** di ciascun individuo.

In alcuni casi conoscere il solo peso corporeo può non bastare ed è necessario **calcolare la superficie corporea**, che si ricava mediante formule che coinvolgono sia il peso che l'altezza. Per questo motivo la superficie corporea rappresenta, rispetto al solo peso, un miglior indicatore della massa metabolica del soggetto preso in esame.

Formule per il calcolo della superficie corporea

	Formule superficie corporea
Formula di Mosteller	$BSA = \sqrt{\frac{A \times P}{3600}} \text{ m}^2$
Formula di DuBois	$BSA = (0,007184 \times A^{0,725} \times P^{0,425}) \text{ m}^2$
Formula di Haycock (solitamente usata per i bambini)	$BSA = (0,024265 \times A^{0,3964} \times P^{0,5378}) \text{ m}^2$
Formula di Gehan e George	$BSA = (0,0235 \times A^{0,42246} \times P^{0,51456}) \text{ m}^2$

P= peso corporeo A= altezza espressa in cm

$$A = 1,70 \text{ m} = (1,70 \times 100) \text{ cm} = 170 \text{ cm}$$

Possiamo ora applicare la formula di Mosteller sostituendo A con 170 e P con 70. Servendoci della [calcolatrice](#) otteniamo

$$\begin{aligned} BSA &= \sqrt{\frac{A \times P}{3600}} \text{ m}^2 = \sqrt{\frac{170 \times 70}{3600}} \text{ m}^2 = \\ &= \sqrt{\frac{11900}{3600}} \text{ m}^2 \simeq 1,818 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

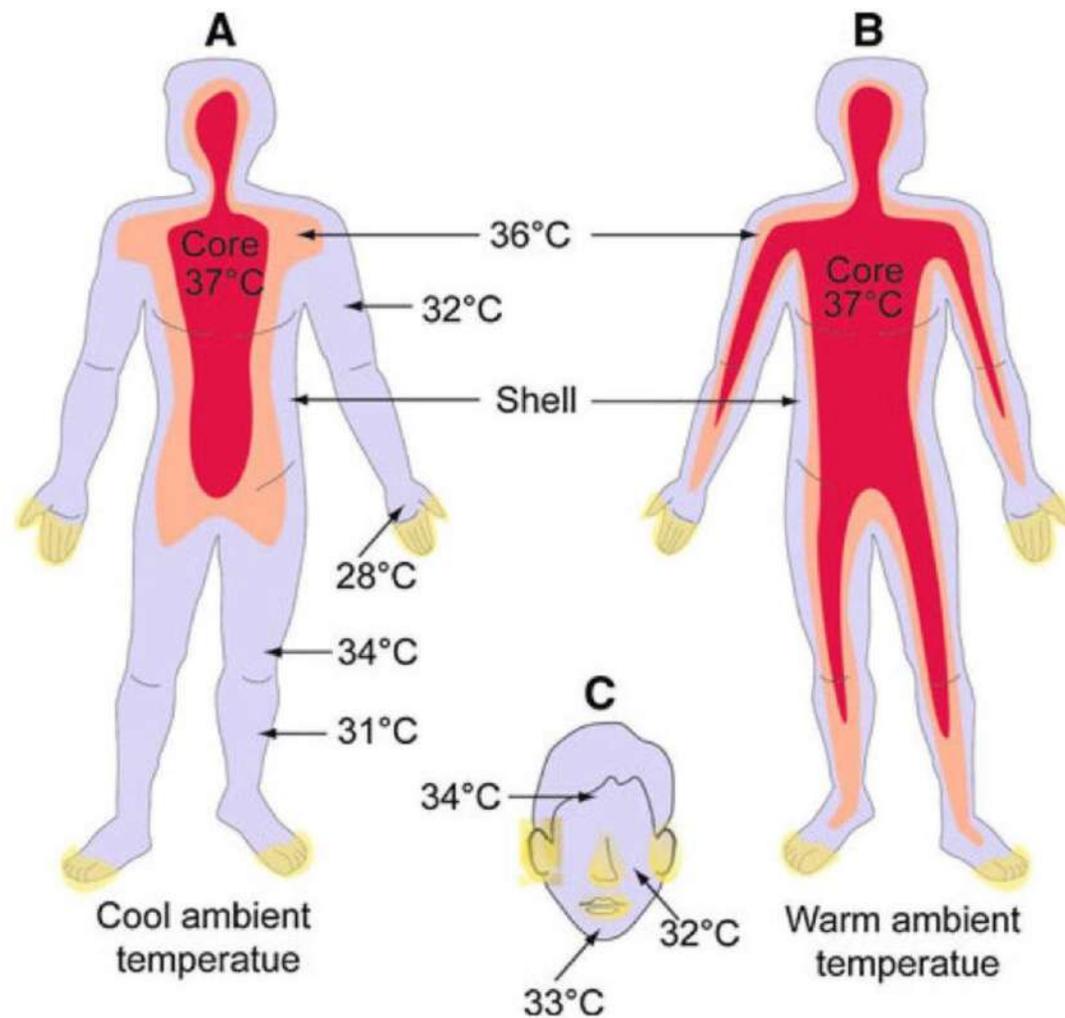
A titolo di esempio, verifichiamo che con la formula di DuBois si ottiene un risultato simile a quello appena ricavato con la formula di Mosteller.

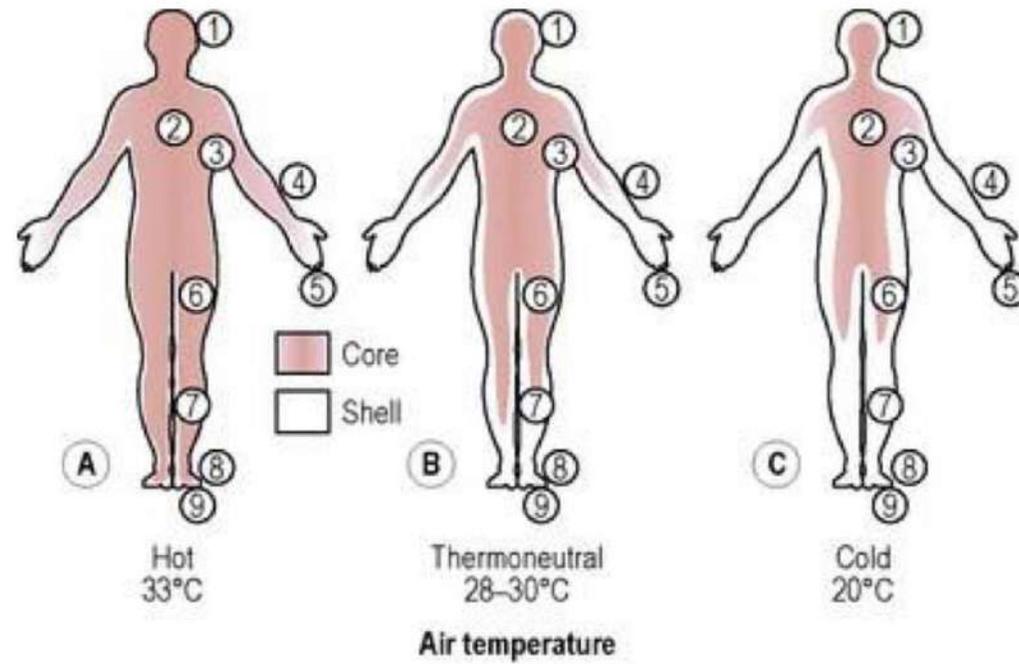
$$\begin{aligned} BSA &= (0,007184 \times A^{0,725} \times P^{0,425}) \text{ m}^2 = \\ &= (0,007184 \times 170^{0,725} \times 70^{0,425}) \text{ m}^2 \simeq 1,8097 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Temperatura corporea

- La temperatura interna del corpo umano rimane relativamente costante, intorno ai 37°C , senza essere influenzata dall'ambiente esterno (concetto di omeotermia).
- La temperatura della superficie cutanea può variare in base alle condizioni ambientali e all'attività fisica.
- Temperatura interna costante.

Distribuzione della temperatura





Site	A (°C)	B (°C)	C (°C)
1 Scalp	36.0	34.8	32.8
2 Chest	35.8	34.5	31.3
3 Axilla	36.5	36.4	36.4
4 Arm	35.9	33.5	27.6
5 Finger	35.9	33.2	21.0
6 Thigh	35.2	33.4	27.8
7 Leg	35.3	30.1	25.2
8 Foot	35.5	29.7	22.7
9 Toe	36.2	29.1	21.4

La temperatura interna è regolata da un sistema a feed-back negativo

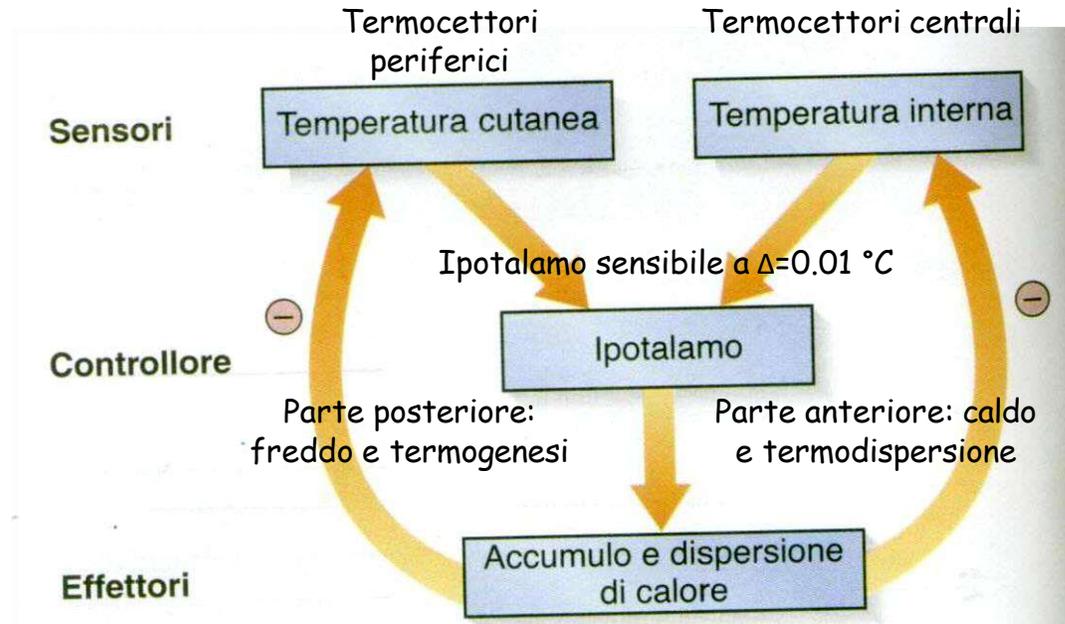
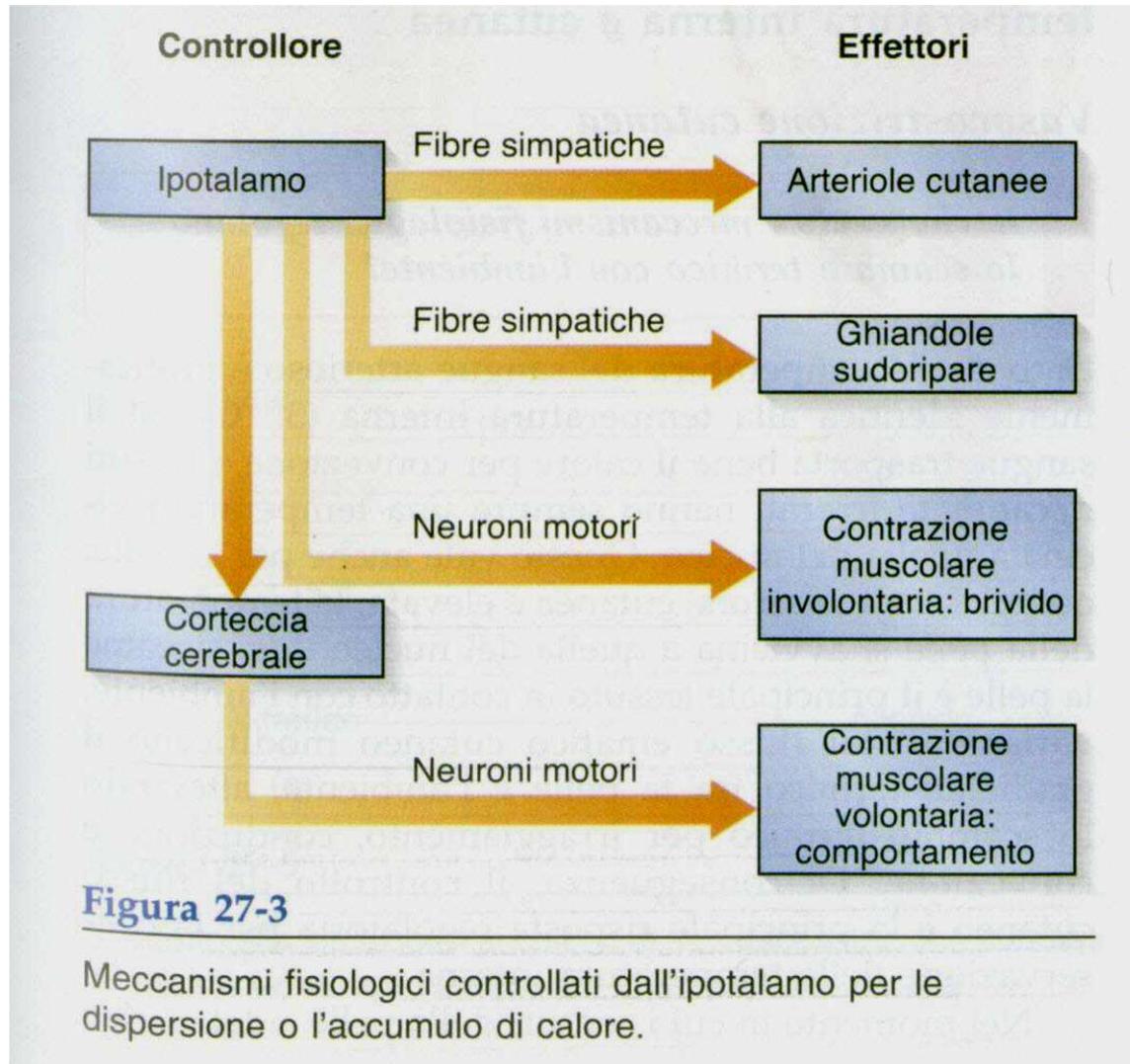


Figura 27-1

Schema della regolazione della temperatura. Le variazioni di temperatura registrate all'interno del corpo e sulla cute sono integrate nell'ipotalamo. L'ipotalamo dà inizio a risposte fisiologiche che modificano l'accumulo e la dispersione di calore, riportando la temperatura interna e cutanea a valori regolati.

CONTROLLO TEMPERATURA INTERNA: produzione di calore



Tono muscolare aumentato (o ridotto)
10-20 contrazioni/sec
Energia liberata=termogenesi
Calore aumenta 2-5 volte

LE RISPOSTE AL CALDO SONO
MENO EFFICIENTI DI QUELLE AL
FREDDO!!!

Termoregolazione del corpo

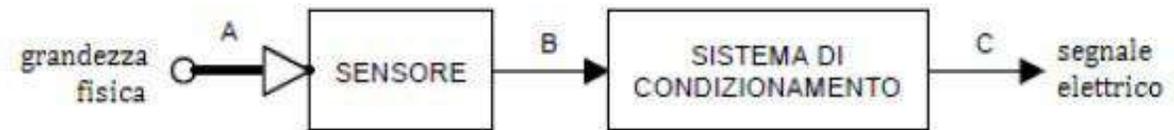
- Per mantenere la temperatura interna del corpo umano a 37°C, il corpo impiega diversi meccanismi.
- Temperatura superiore ai 37°C, attivati i meccanismi che favoriscono la cessione di calore come la VASODILATAZIONE (per aumentare il flusso di sangue alla cute) e attiva la SUDORAZIONE.
- Temperatura di sotto dei 37°C, attivati i meccanismi di conservazione e di produzione del calore quali la VASOCOSTRIZIONE (per diminuire il flusso ematico alla cute) e il BRIVIDO (per aumentare la produzione di calore viene stimolato l'aumento del tono muscolare involontario, cioè l'aumento delle contrazioni muscolari, anche con vere e proprie scosse muscolari).
- L'organismo non è in grado di resistere per lunghi periodi in un ambiente che sia straordinariamente freddo o eccessivamente caldo.

Capacità termica e calore specifico

- Sostanze diverse hanno diversa capacità di assorbire ($Q>0$) o cedere ($Q<0$) calore.
- $C = Q/\Delta T$ **capacità termica** dipende dall'intervallo termico, dalla massa del corpo e dalla natura della sostanza che lo compone.
- $c = C/m = Q/(m\Delta T)$ **calore specifico** $Q = m c \Delta T$
- Dipende solo dall'intervallo termico e dalla natura della sostanza considerata; rappresenta la quantità di calore necessaria per innalzare di un grado l'unità di massa della sostanza.
- Il calore specifico dell'H₂O è: $10^3 \text{ cal}/(\text{Kg } ^\circ\text{C})=1 \text{ kcal}/(\text{Kg } ^\circ\text{C})= 4.186 \text{ KJ}/(\text{Kg } ^\circ\text{C})$.

Misurazione della temperatura

- Trasmissione di energia termica tra corpo e sensore
- Conversione di grandezze fisiche (temperatura->grandezze elettriche)
- Modalità di misurazione:
 - Conduzione
 - Convezione
 - Irraggiamento



Tipologie di sensori

- Termocoppie



- Termistori



- Pirometri



- Sensori integrati



- Termoresistenze



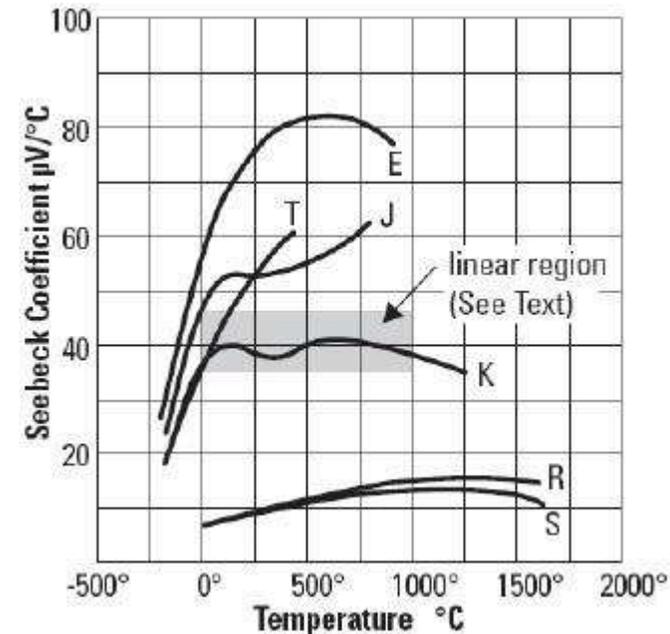
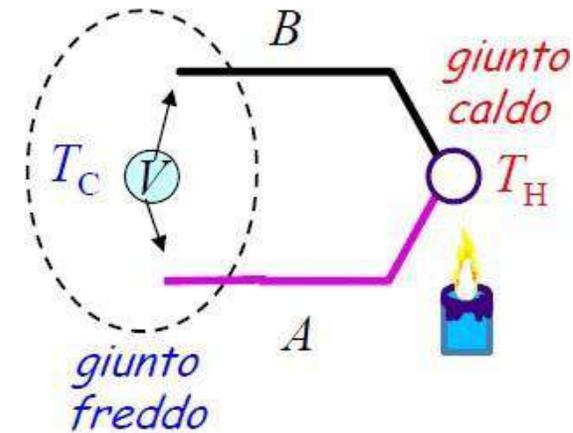
- Altri sensori...

Termocoppie

- Sfruttano proprietà termoelettriche derivanti dall'accoppiamento di due conduttori dissimili posti a differenti temperature
- Effetto Seebeck

$$V_{S_{AB}} = K_{S_{AB}}(T) \cdot \Delta T \quad \text{con } \Delta T = T_H - T_C$$

- La tensione tra i due capi al giunto freddo è proporzionale alla differenza di temperatura fra le due giunzioni
 - E' necessario mantenere la temperatura del giunto freddo ad un valore fissato



Termocoppie

Tipo	Metalli	Coefficiente di Seebeck [$\mu V / ^\circ C$]	Range di Funzionamento [$^\circ C$]
T	Cu-Con	38	0 ÷ 370
K	Ni-Cr	40	-200 ÷ 1260
J	Fe-Con	50	0 ÷ 760
E	Ni/Cr-Con	59	-200 ÷ 900
R,S	Pt/Rh-Pt	10	0 ÷ 1480

- Il coefficiente di Seebeck (o sensibilità) dipende dai materiali costruttivi e risulta essere funzione della temperatura

- Le termocoppie vanno scelte in base al valore di temperatura media da misurare

- Pro:

- ▶ Basso costo
- ▶ Range esteso
- ▶ Ampia scelta
- ▶ Robustezza

- Contro:

- ▶ Non linearità
- ▶ Misure relative
- ▶ Misure complesse

Termoresistenza (RTD)

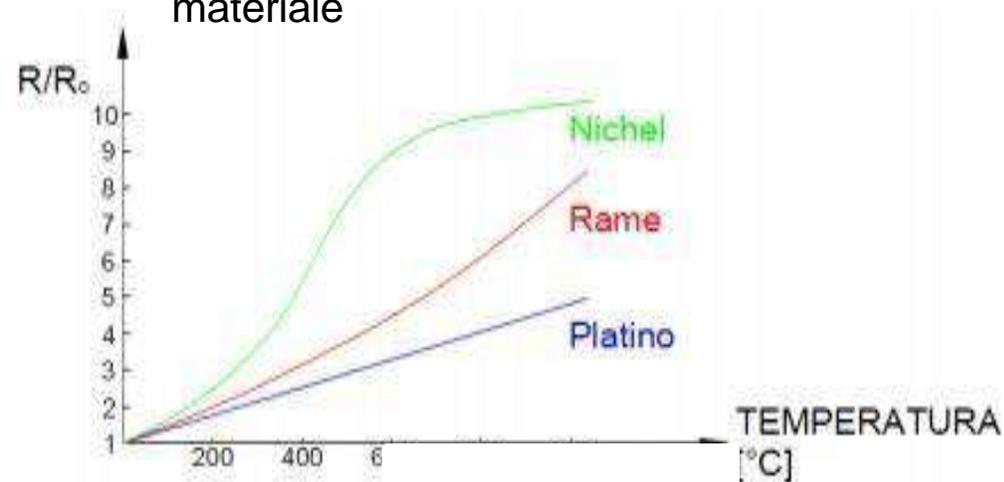
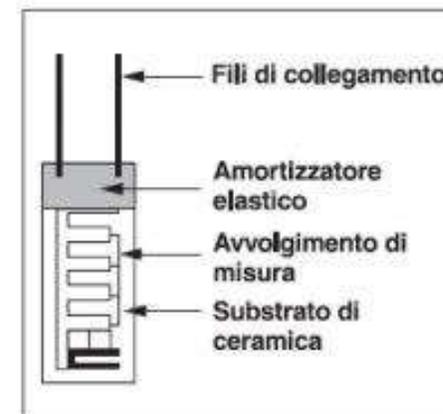
- Sfruttano la proprietà dei metalli di variare la conducibilità elettrica al variare della temperatura
- Equazione di Callendar e Van Dusen

$$R = R_0 \left[1 + A\theta + B\theta^2 + C(\theta - 100)\theta^3 \right]$$

▶ A, B, C costanti proprie del materiale

- Platino maggiormente utilizzato:

- ▶ Elevata linearità tra 0° e 630°
- ▶ Ottima accuratezza



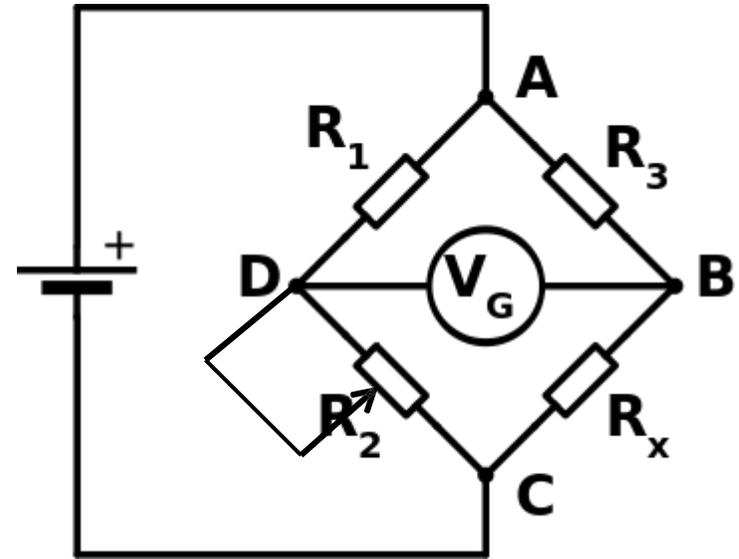
Termoresistenza

- Necessita di un circuito ausiliario: Ponte di Wheatstone

$$R_X = R_0 + \Delta R = R_0 \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0} \right) = R(1 + \delta)$$

- Il sensore va inserito in un ramo del ponte
- Si fa variare R_2 finché non si raggiunge l'equilibrio in tutto il circuito
- Quando non scorre corrente nel circuito del galvanometro vale la relazione:

$$R_x = \frac{R_2 \times R_3}{R_1}$$



Termoresistenza

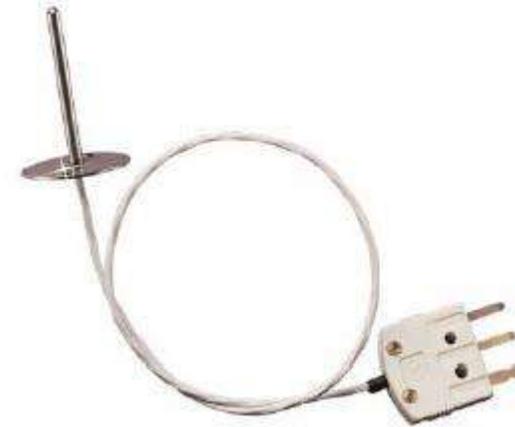
- Range di temperatura [-200 ,800] °C
- Correnti limitate per evitare aumento di temperatura indesiderato che falserebbe la misurazione

- Pro:

- ▶ Robustezza
- ▶ Linearità
- ▶ Accuratezza
- ▶ Stabilità

- Contro:

- ▶ Lentezza
- ▶ Bassa sensibilità
- ▶ Costo elevato
- ▶ Collegamento 4 fili

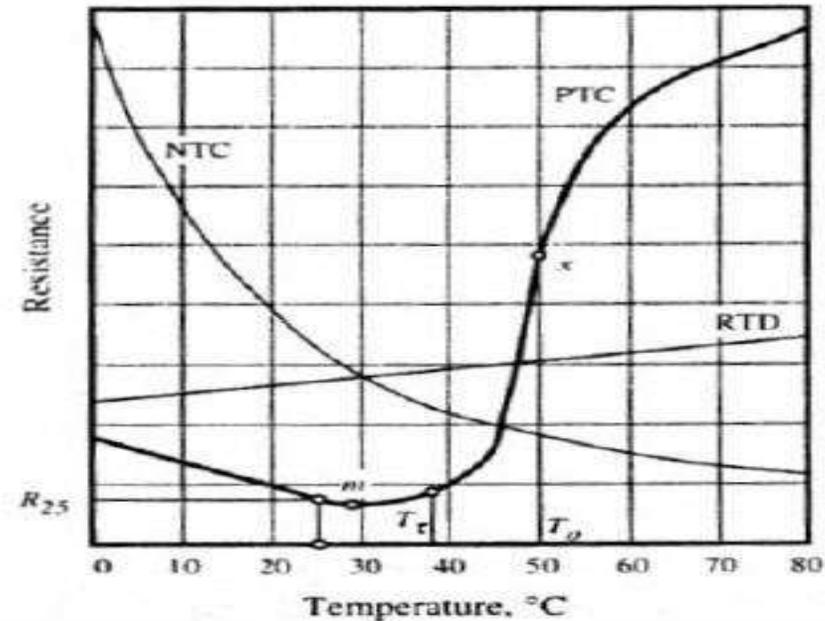
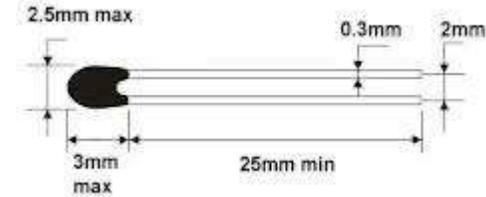


Termistori

- Sfruttano la proprietà dei semiconduttori di variare la conducibilità elettrica e al variare della temperatura
- Forma semplificata dell'equazione di Steinhart-Hart:

$$R = R_0 \exp \left[-\beta \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

- Due tipologie di termistori:
 - PTC (positive temperature coefficient)
 - NTC (negative temperature coefficient)



Confronto RTD-termistori-termocoppie

→ RTD

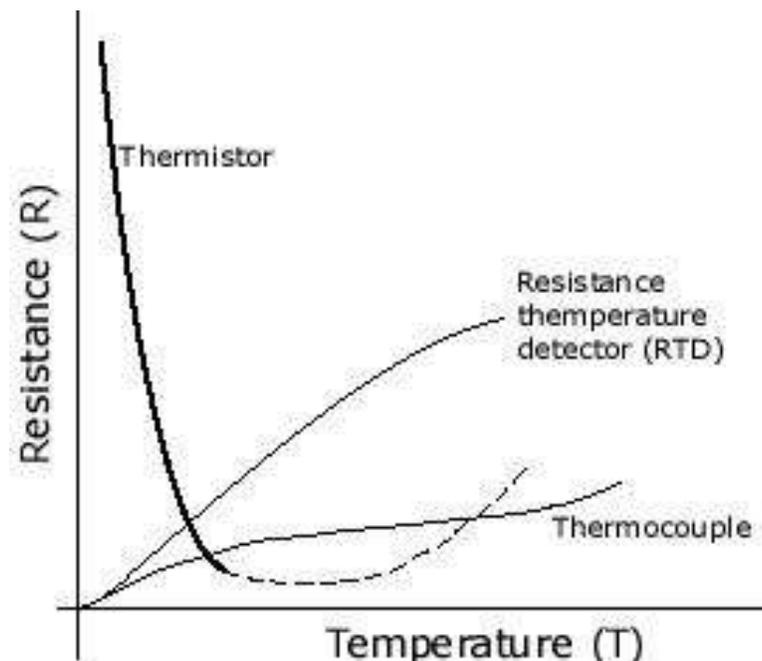
- ▶ Precisione e stabilità della misurazione
- ▶ Precisione lungo tutto l'intervallo
- ▶ Misurazione su un'area
- ▶ Alto livello di standardizzazione

→ Termistori

- ▶ Alte risoluzioni su intervalli ristretti
- ▶ Riduzione dei costi
- ▶ Misurazione su un punto
- ▶ Miniaturizzazione

→ Termocoppie

- ▶ Misurazione di elevate temperature
- ▶ Per applicazioni semplici



Pirometri

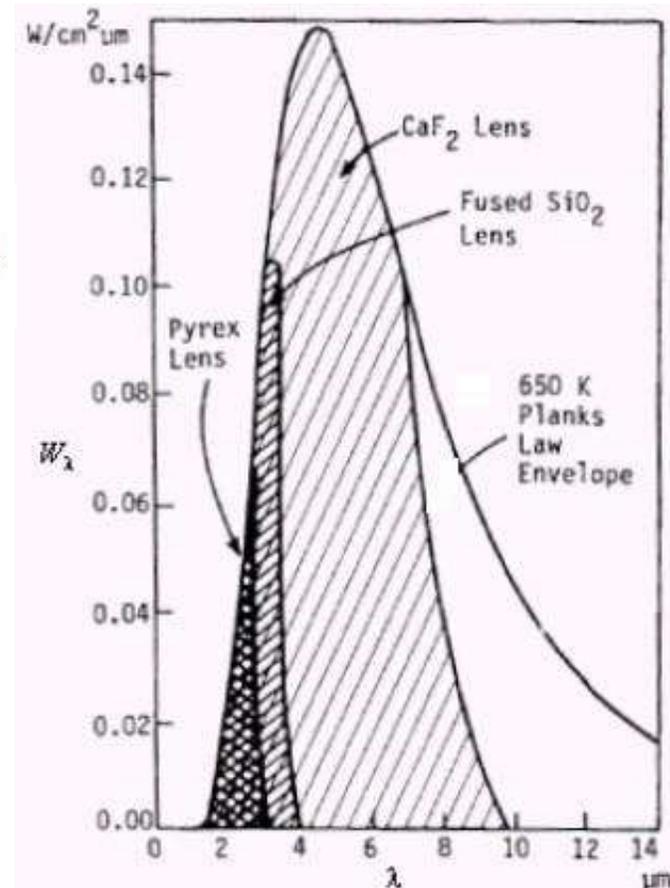
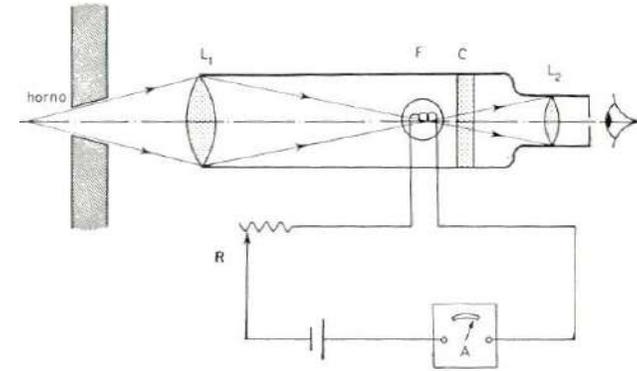
- Basati sulla trasmissione del calore per irraggiamento elettromagnetico regolata dalla legge di Planck.
- Equazione di Planck

$$I_\nu(\nu, T) = \frac{2h}{c^2} \cdot \frac{\nu^3}{[\exp(h\nu / k_B T) - 1]} \cdot \varepsilon(\nu)$$

- Legge di Stefan Boltzmann

$$I(T) = E\sigma T^4$$

- A causa delle lenti convogliatrici della radiazione sul sensore, il pirometro non funziona allo stesso modo per tutte le lunghezze d'onda (temperature)



Pirometri

- Vengono usati per temperature anche superiori ai 1450 °C
- Sono molto utili nel controllo di processi dove sia essenziale l'assenza di contatto con il sistema oppure in processi industriali dove altri sensori avrebbero vita breve.



- Pro:
 - ▶ Non invasività
 - ▶ Stabilità
 - ▶ Temperature elevate
 - ▶ Range esteso
- Contro:
 - ▶ Non linearità
 - ▶ Alto costo

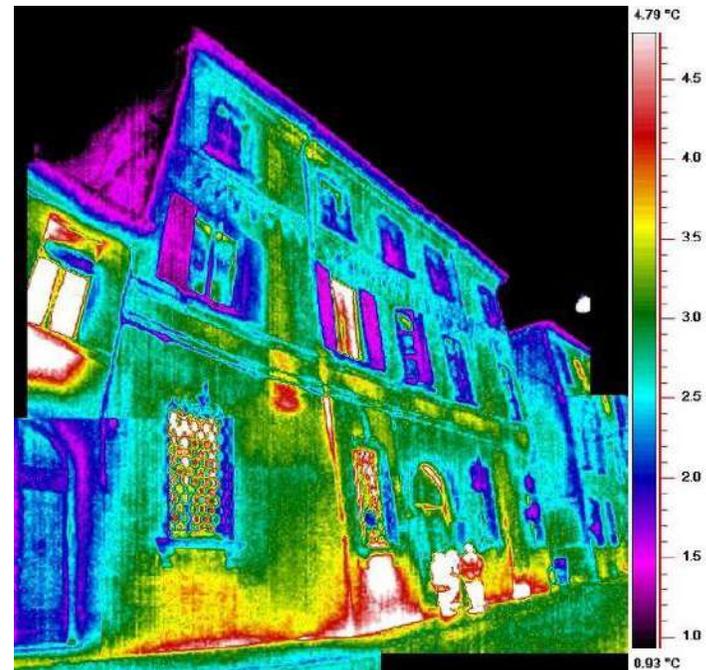
Sensori termografici

- Sfruttano la proprietà di tutti i materiali che, a temperatura superiore allo zero assoluto, emettono una radiazione nel campo dell'infrarosso (lunghezza d'onda compresa tra 0,7 e 1000 μm)

- Legge di Stefan-Boltzmann

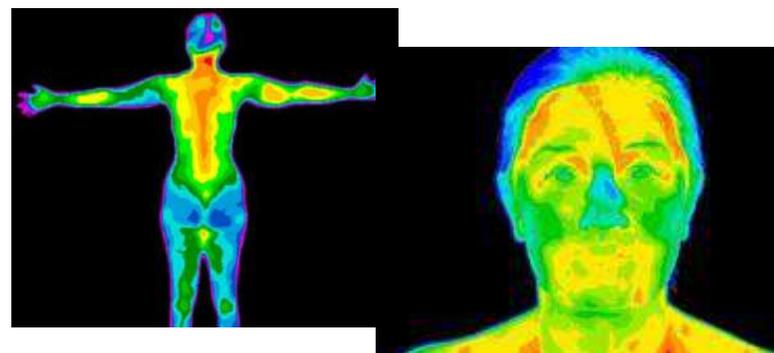
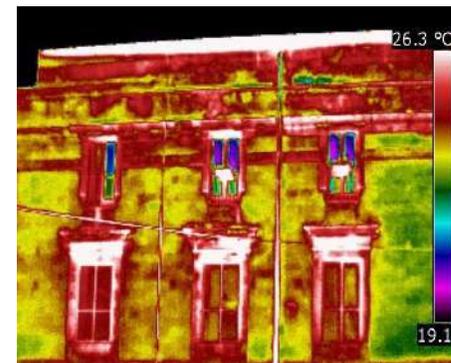
$$q = \varepsilon \sigma T^4. \text{ si usa per capire}$$

- La rivelazione della temperatura avviene attraverso un rilevatore infrarosso



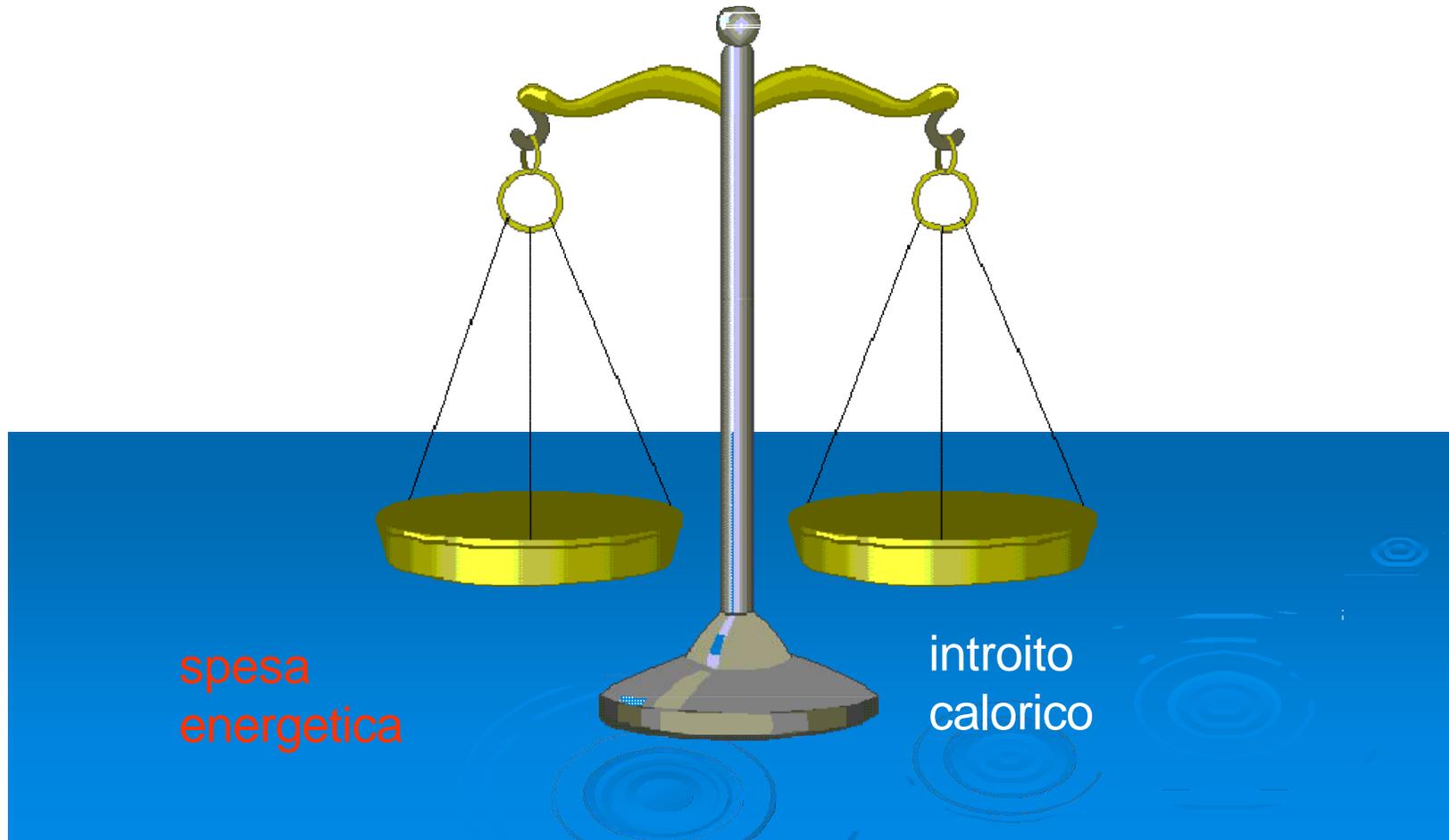
Sensori termografici

- L'analisi termografica può essere condotta in due diverse condizioni:
 - Attiva: il corpo viene riscaldato e si analizzano i flussi termici
 - Passiva: si analizza la superficie così com'è al momento dell'indagine (elementi esterni edifici)
- Pro:
 - ▶ Stabilità
 - ▶ Non invasività
 - ▶ Accuratezza
 - ▶ Range esteso
- Contro:
 - ▶ Elevato costo

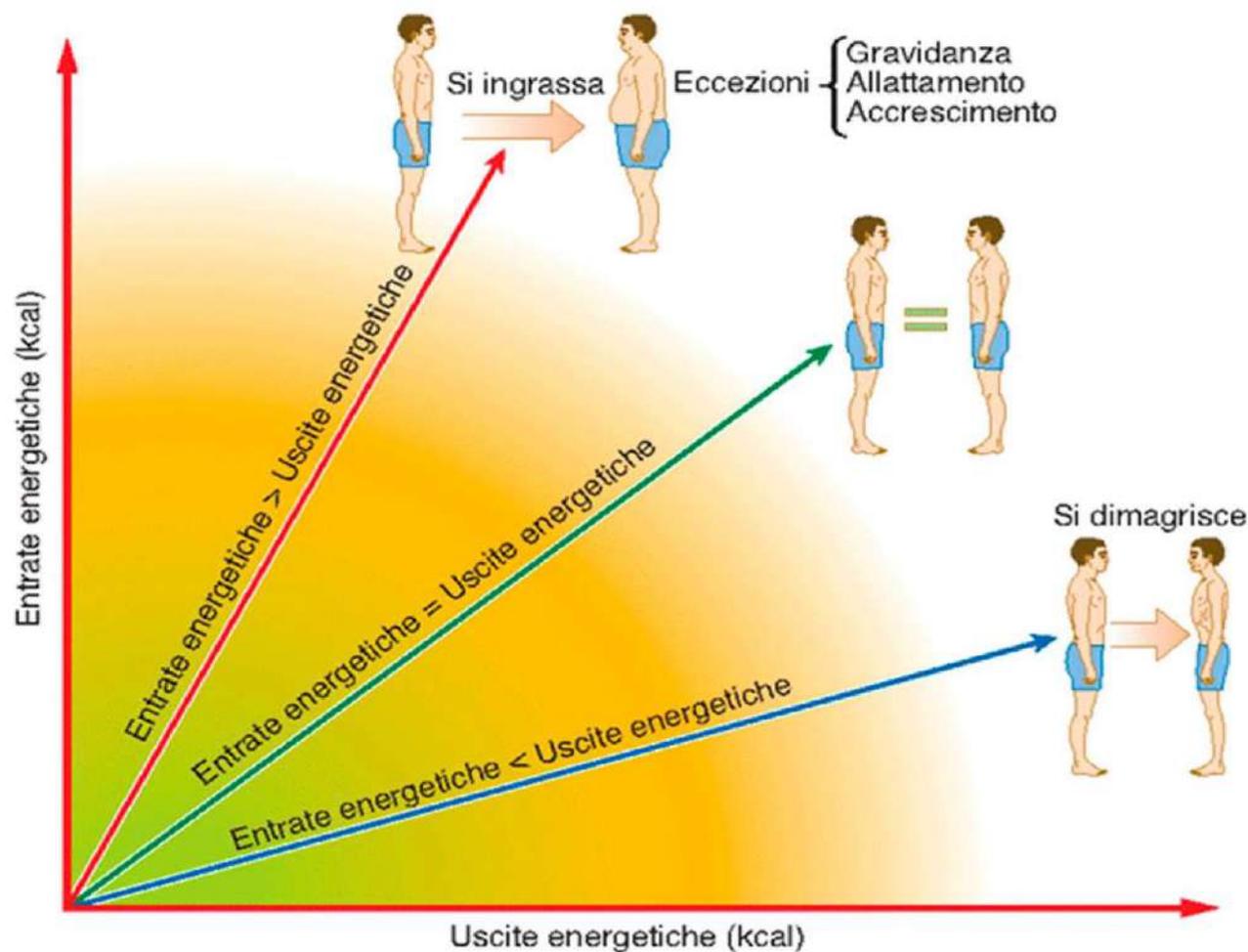


Parametri	Valori
Metabolismo basale	72 Kcal h ⁻¹
Consumo di ossigeno	250 ml min ⁻¹
Produzione di CO ₂	200 ml min ⁻¹
Quoziente respiratorio	0.80
Volume del sangue	5 litri
Portata cardiaca a riposo	5 l min ⁻¹
Pressione sanguigna sistemica	120, 80 mm Hg
Pulsazioni cardiache a riposo	65 min ⁻¹

Bilancio energetico



Bilancio energetico

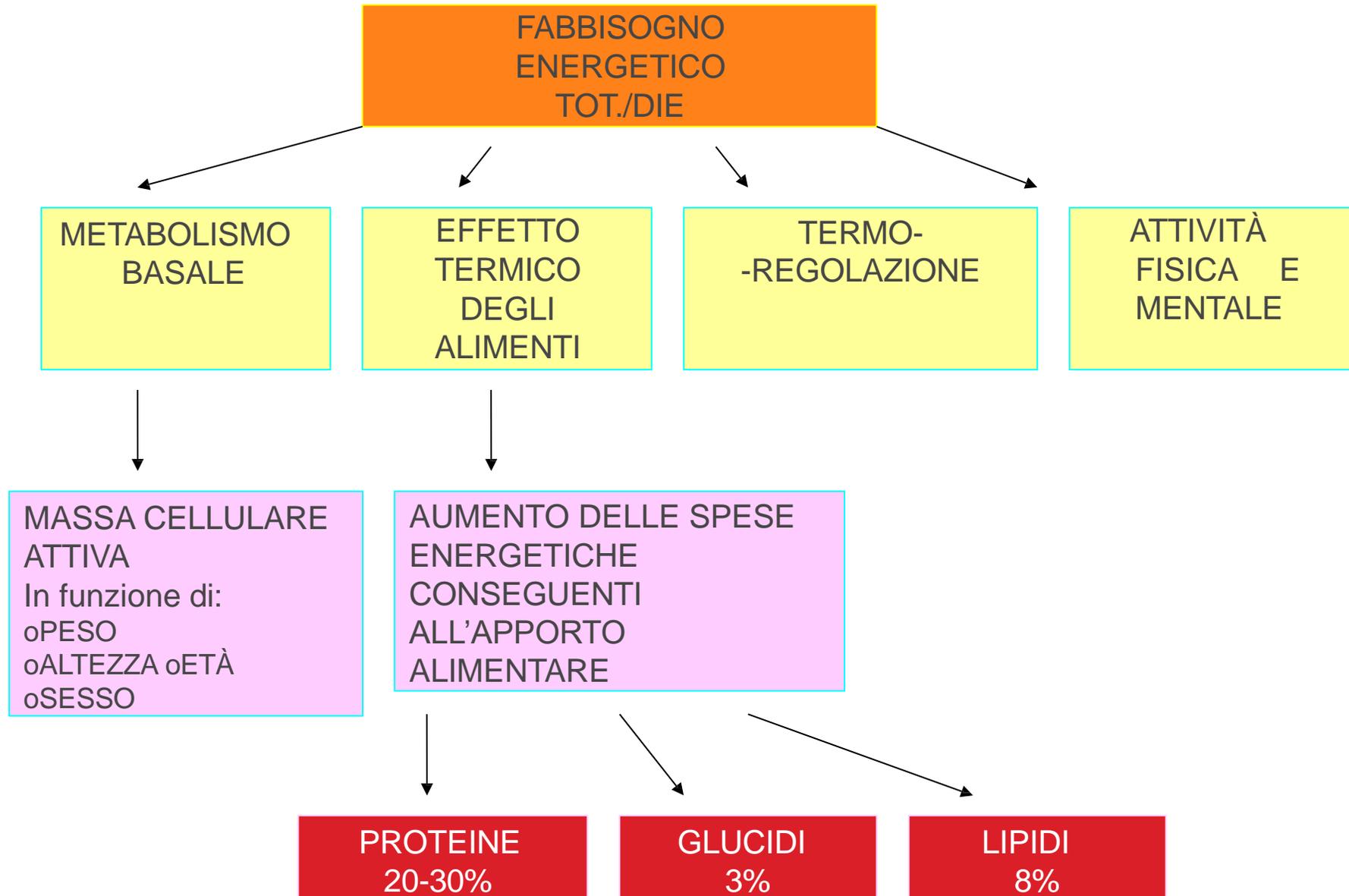


Se le entrate e le uscite sono uguali, il peso corporeo rimane costante. Se le entrate superano le uscite, il bilancio è positivo e si ha aumento di peso. Se le entrate sono inferiori alle uscite, il bilancio è negativo e si ha diminuzione delle riserve e quindi calo di peso.

Metabolismo energetico

- **Quota metabolica di riposo** = (60-70% della spesa giornaliera totale) quota spesa per mantenere le normali funzioni metaboliche +
- **Effetto termico dell'esercizio fisico**: (15-30%) quota spesa per l'attività fisica sopra i livelli basali. E' la spesa energetica più variabile +
- **Effetto termico del cibo**: (10%) incremento di spesa energetica dopo il pasto, necessaria per digerire, trasportare, metabolizzare il cibo. Dipende dal substrato ingerito +
- **Termoregolazione**: (% non ben definita nell'uomo) variazione energetica determinata dai cambi di temperatura dell'ambiente, stress, emozioni, ecc.

Spesa energetica giornaliera



Misurazione del dispendio energetico

- La massima parte delle trasformazioni energetiche dell'organismo alla fine produce calore, quindi la quantità di energia dissipata da un individuo può essere determinata dalla misurazione del calore da lui prodotto. Tale misurazione è definita **calorimetria**
- Ci si avvale di due tipi di calorimetria: **diretta e indiretta**

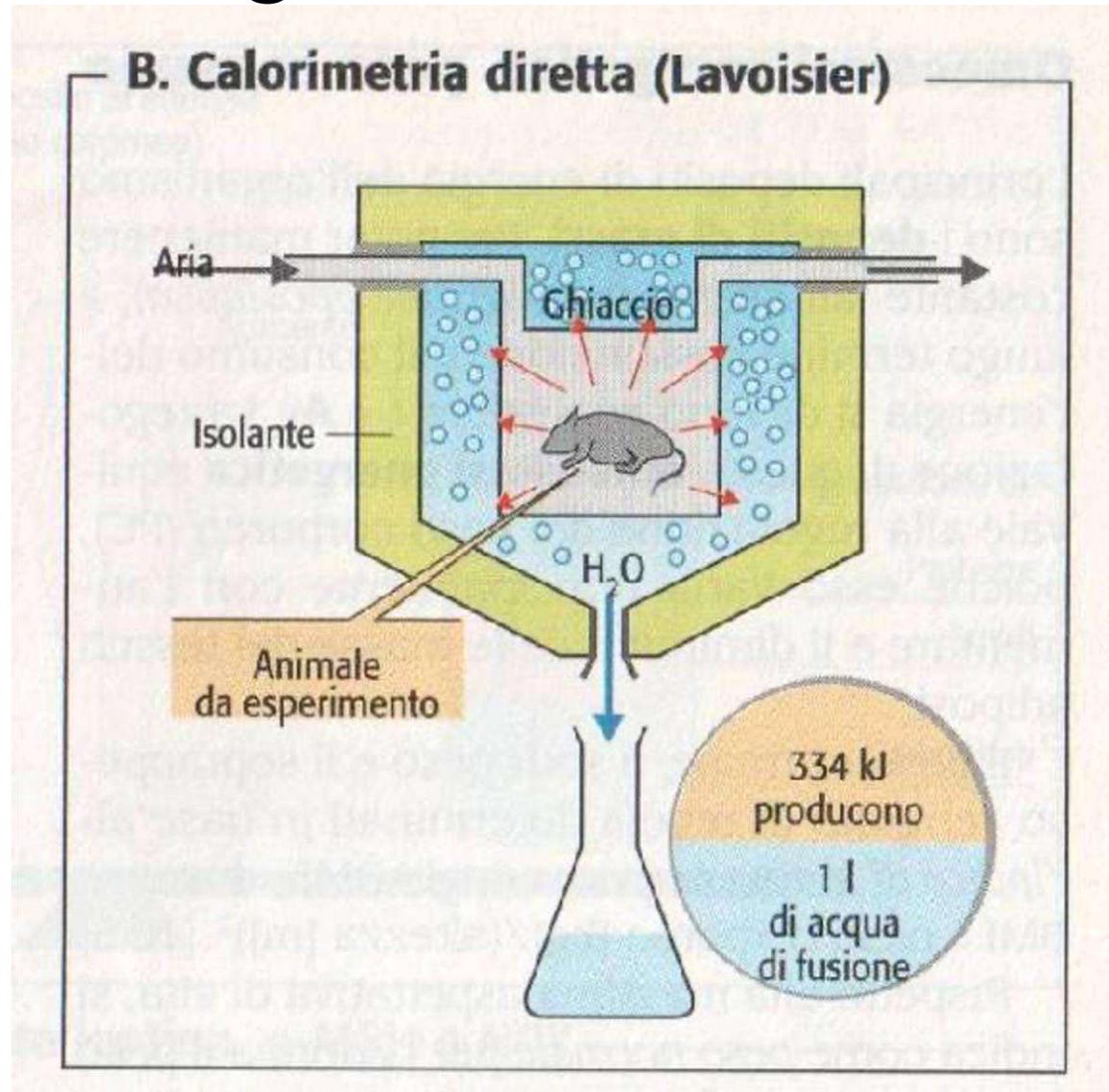
Calorimetria diretta

- Metodica che si avvale della **misurazione diretta del calore** prodotto da un organismo a riposo posto in un adatto **calorimetro**
- Sono utilizzati due tipi di calorimetri: **adiabatico o a gradiente**

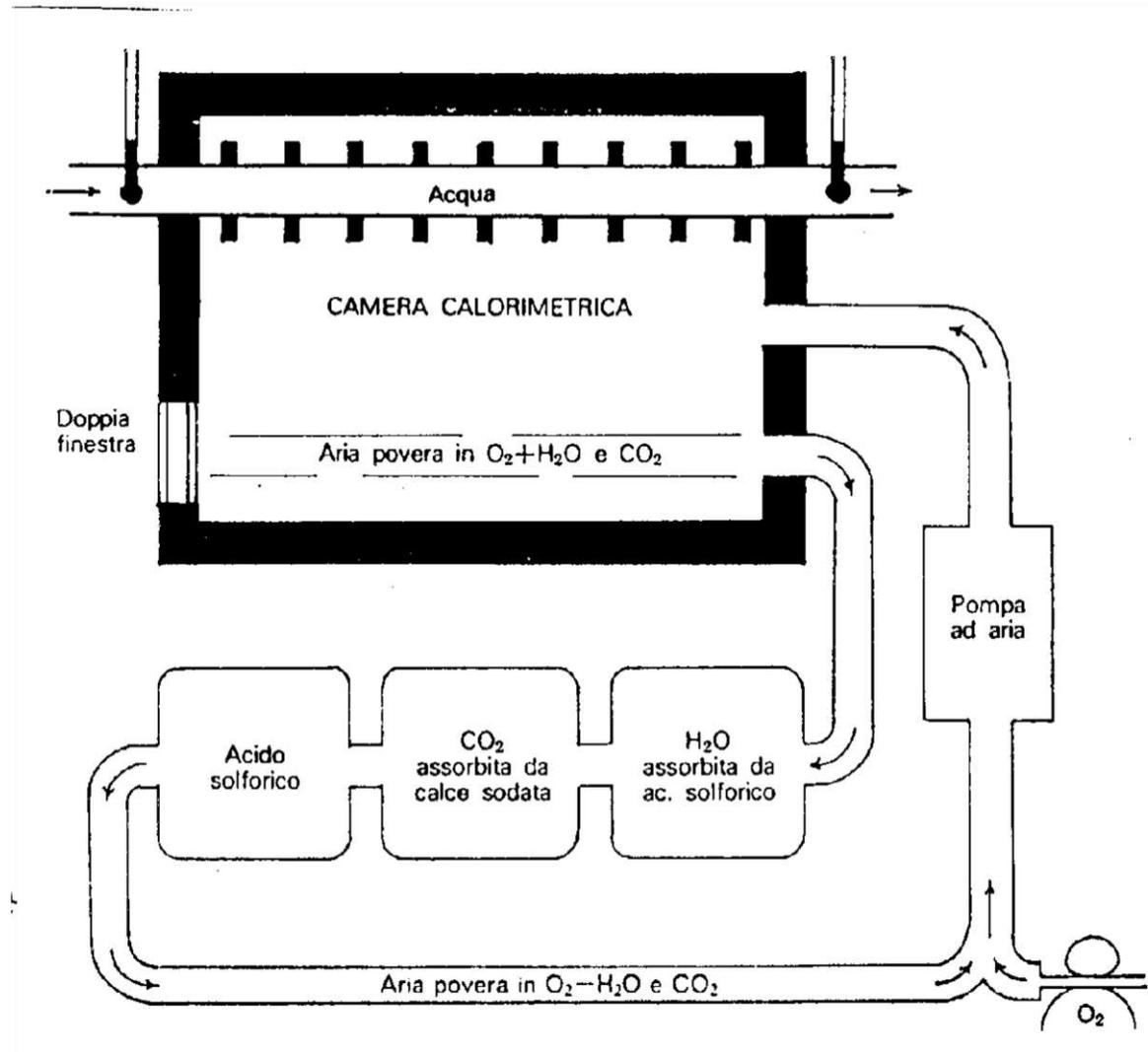
Calorimetri adiabatici

- I due tipi più comuni di calorimetri sono: il **calorimetro ad acqua** ed il **calorimetro a ghiaccio**
- Il soggetto viene posto dentro una camera termicamente isolata e il calore prodotto viene valutato misurando il riscaldamento o le trasformazioni di stato che subiscono l'acqua o il ghiaccio contenuti nelle pareti

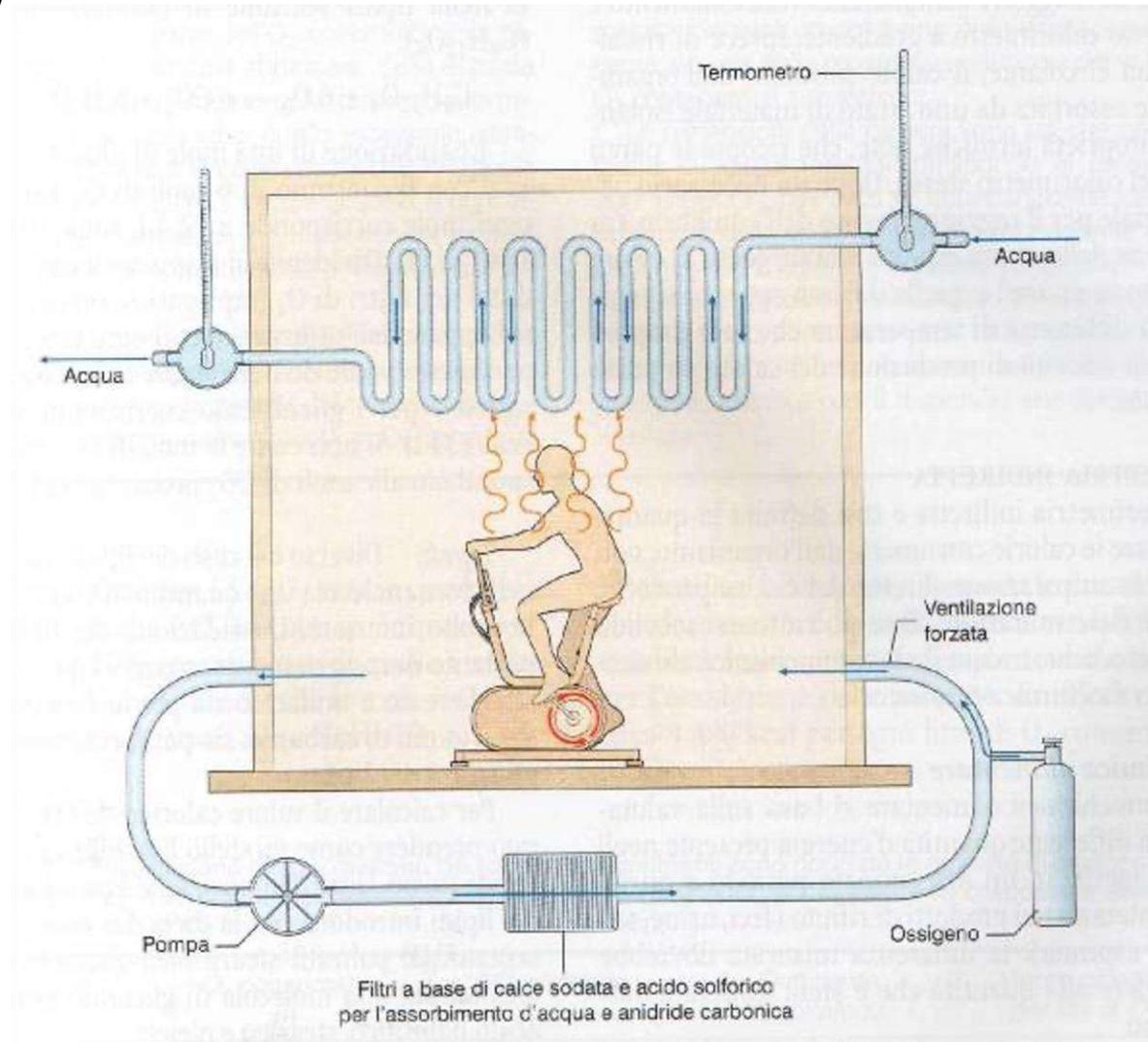
Calorimetro a ghiaccio



Calorimetro ad acqua



Calorimetro ad acqua e metabolismo energetico



Calorimetro a gradiente

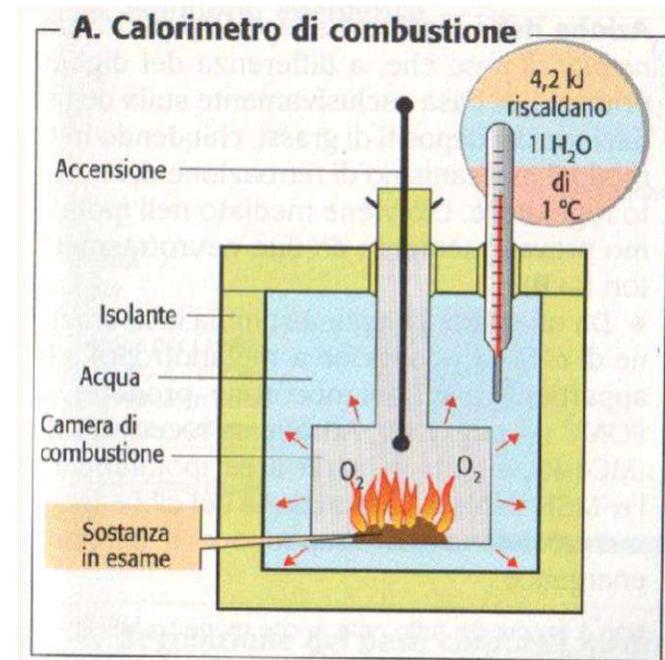
- Sfruttano lo stesso principio dei calorimetri adiabatici, ma viene misurata la differenza di temperature tra l'interno e l'esterno di uno **strato** della parete del calorimetro che è costituito da un materiale **isolante** di grandezza, forma, proprietà termiche costanti

Calorimetria indiretta

- Per calcolare le calorie consumate dall'organismo sfrutta la termochimica respiratoria che si basa sul principio che **l'energia prodotta dall'organismo deriva fondamentalmente dall'ossidazione degli alimenti** e quindi dal consumo di ossigeno
- Calcolando il consumo di ossigeno si può quindi risalire all'energia utilizzata dall'organismo

Misurazione dell'ossigeno consumato per l'ossidazione degli elementi

- I **vari nutrienti** hanno una diversa composizione chimica e, in particolare, un **diverso contenuto molecolare di O₂**
- Il diverso contenuto molecolare di O₂ induce lo sviluppo di **diverse quantità di energia (valore di combustione)** per l'ossidazione dei vari nutrienti
- L'energia sviluppata dall'ossidazione dei vari nutrienti può essere misurata da un **calorimetro di combustione**



Energia sviluppata dai diversi substrati energetici

- A seguito dei processi ossidativi (consumo di O_2 e produzione di CO_2 e H_2O):
- I **lipidi** forniscono **9,3 Kcal/g**
- I **protidi** forniscono **4,1 Kcal/g**
- I **glucidi** forniscono **4,1 Kcal/g**
- L'**alcool** fornisce **7,1 Kcal/g**
- Questa **energia** viene in parte **utilizzata**, e rappresenta il **dispendio energetico** dell'organismo, in parte immagazzinata (ATP, GTP, ...) e rappresenta la **riserva energetica** dell'organismo

Ossidazione e Quoziente Respiratorio

- Nelle reazioni di ossidazione delle molecole organiche si **sviluppano CO₂ + H₂O**
- In particolare nell'ossidazione dei **glucidi**, l'O₂ assunto dall'esterno viene impiegato **esclusivamente per l'ossidazione del C a CO₂**, in quanto H e O si trovano già nella giusta proporzione per formare l'H₂O, come si nota nell'ossidazione del glucosio:



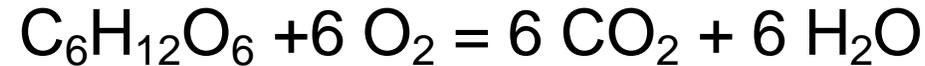
Invece nell'ossidazione di **lipidi e protidi**, l'O₂ viene utilizzato **anche per formare l'H₂O** e quindi ne sarà necessaria una maggiore quantità

- Il rapporto tra il volume di anidride carbonica espirato (CO₂ prodotta dalle sostanze ossidate) ed il volume di ossigeno inspirato (moli di O consumate per ossidare le stesse sostanze) ci dà il Quoziente Respiratorio:

$$\text{Q.R.} = \text{VCO}_2 / \text{VO}_2$$

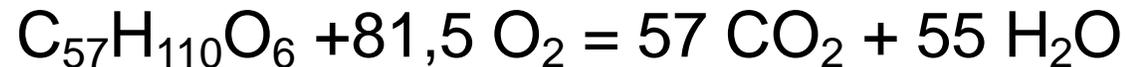
Quoziente respiratorio dei nutrienti

Quoziente respiratorio dei **glucidi**:



$$\text{Q.R.} = 6 \text{CO}_2 / 6 \text{O}_2 = 1$$

Quoziente respiratorio dei **lipidi** (tristearina):



$$\text{Q.R.} = 57 \text{CO}_2 / 81,5 \text{O}_2 = 0,7$$

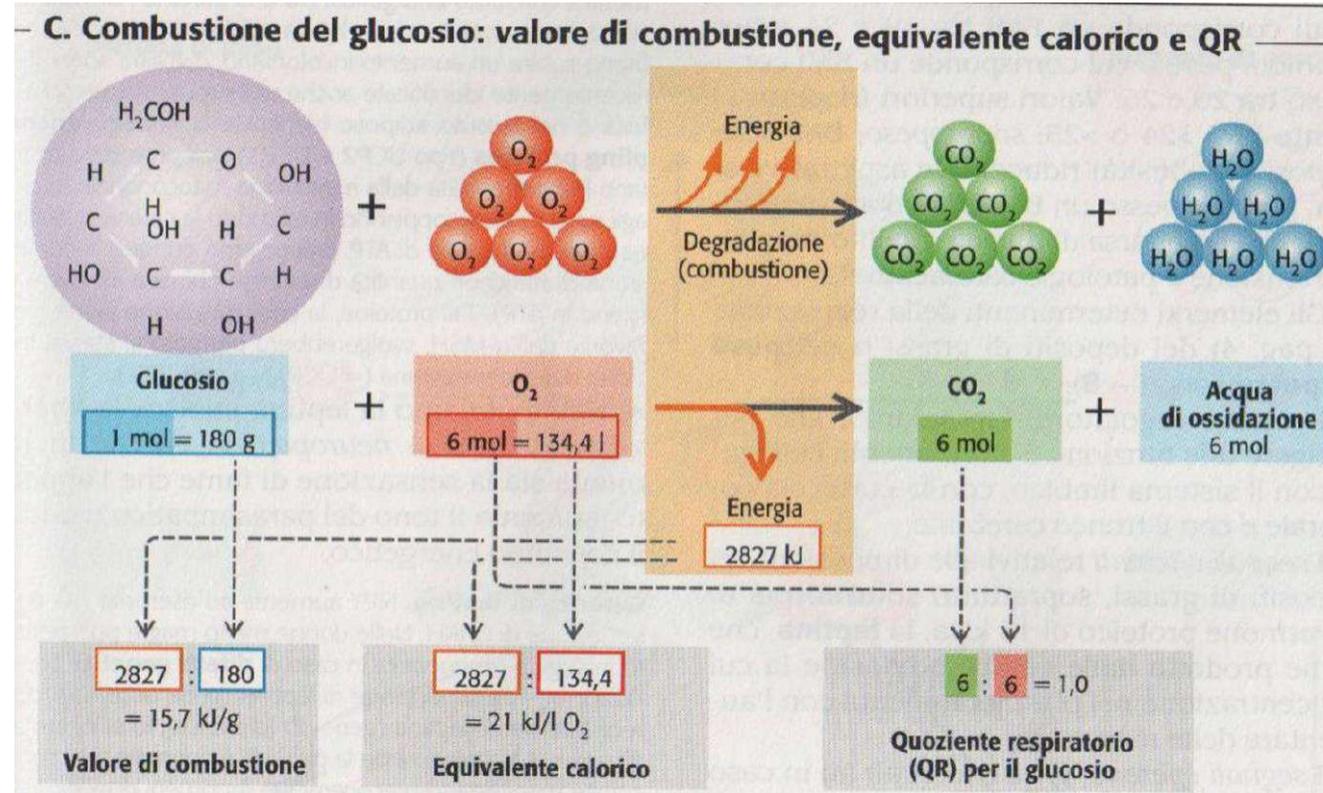
Quoziente respiratorio dei **protidi**:

$$\text{Q.R.} = 77,5 \text{CO}_2 / 96,7 \text{O}_2 = 0,8$$

Quoziente respiratorio dell'**alcool** = 0,6

Quoziente respiratorio **medio** = 0,82

Equivalente calorico e QR



Il **quoziente respiratorio** è il rapporto tra il volume di anidride carbonica espirato (CO₂ prodotta dalle sostanze utilizzate) ed il volume di ossigeno inspirato (moli di O consumate per ossidare le stesse sostanze):

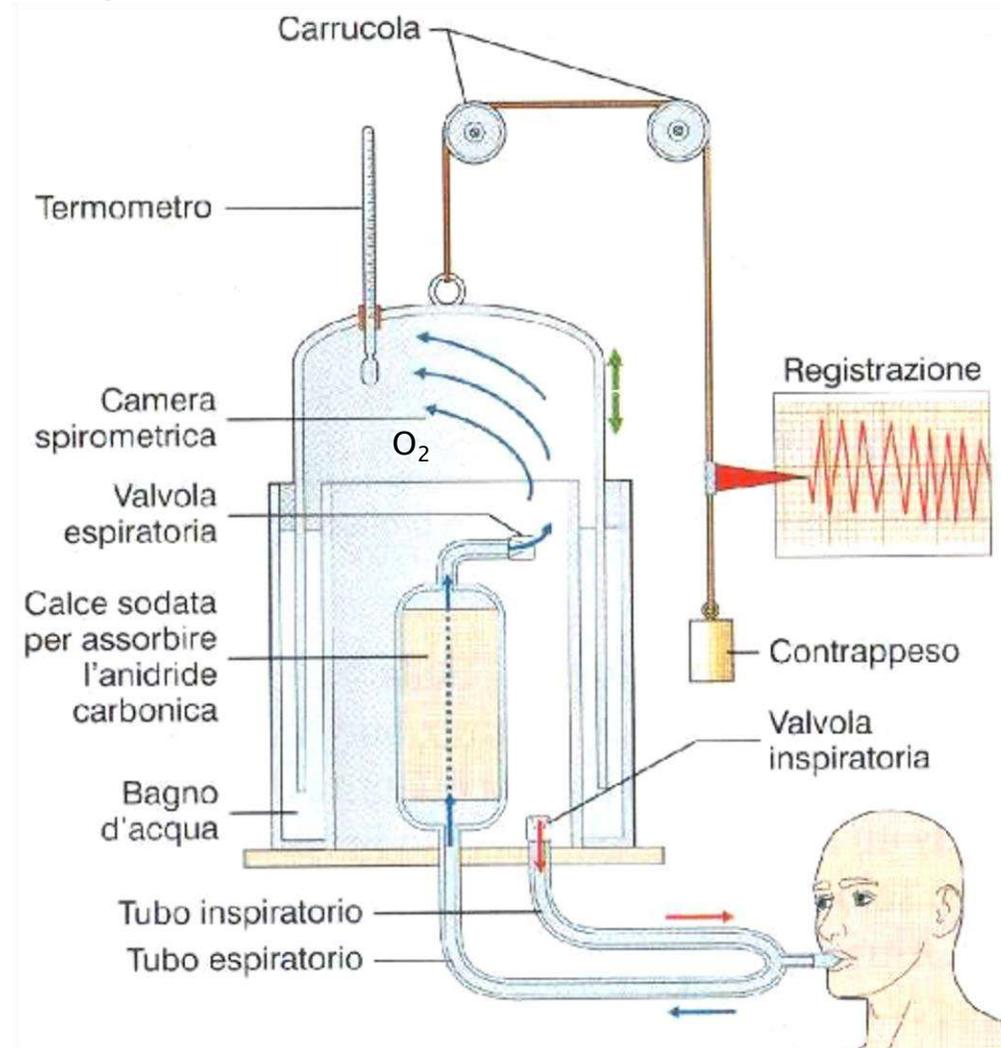
$$\text{Q.R.} = \text{VCO}_2 / \text{VO}_2$$

L'**equivalente calorico** medio di un litro di O₂ è dato dal numero di calorie sviluppato nell'ossidazione dei substrati da parte di un litro di O₂ (4,82 Kcal per un Q.R = 0,82)

Calorimetria indiretta: il metabolometro (spirometro di Benedict-Roth)

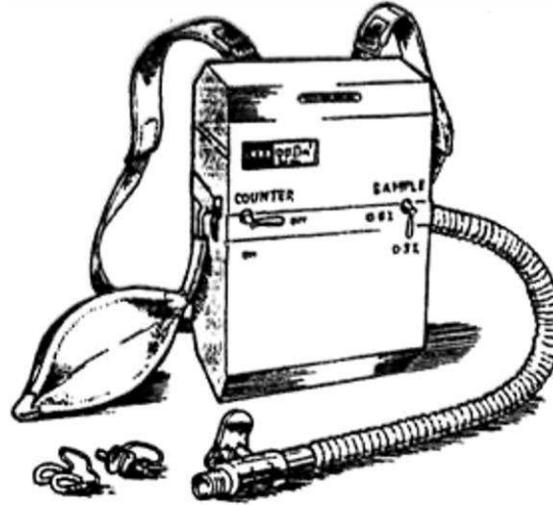
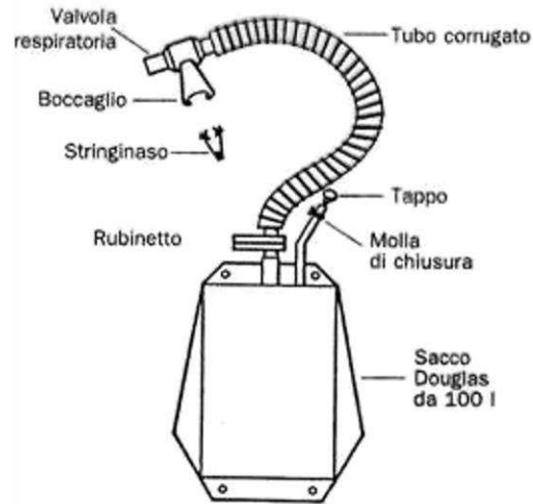
Ad ogni atto respiratorio, la quantità di gas restituita alla camera sarà inferiore a quella inspirata perché una parte di O_2 inspirato viene ceduta dagli alveoli al sangue, la CO_2 viene trattenuta dalla calce sodata, quindi la camera si innalzerà di meno.

Ogni mm di abbassamento corrisponde al consumo di 20,7 ml di O_2 . Conoscendo l'equivalente calorico dell' O_2 (4,825 Kcal/l), si ha che 1 mm di escursione corrisponde a 0,1 Kcal. Se la misurazione dura 10 min, basterà moltiplicare il risultato per 6 ed ottenere il dispendio energetico relativo ad 1 h.

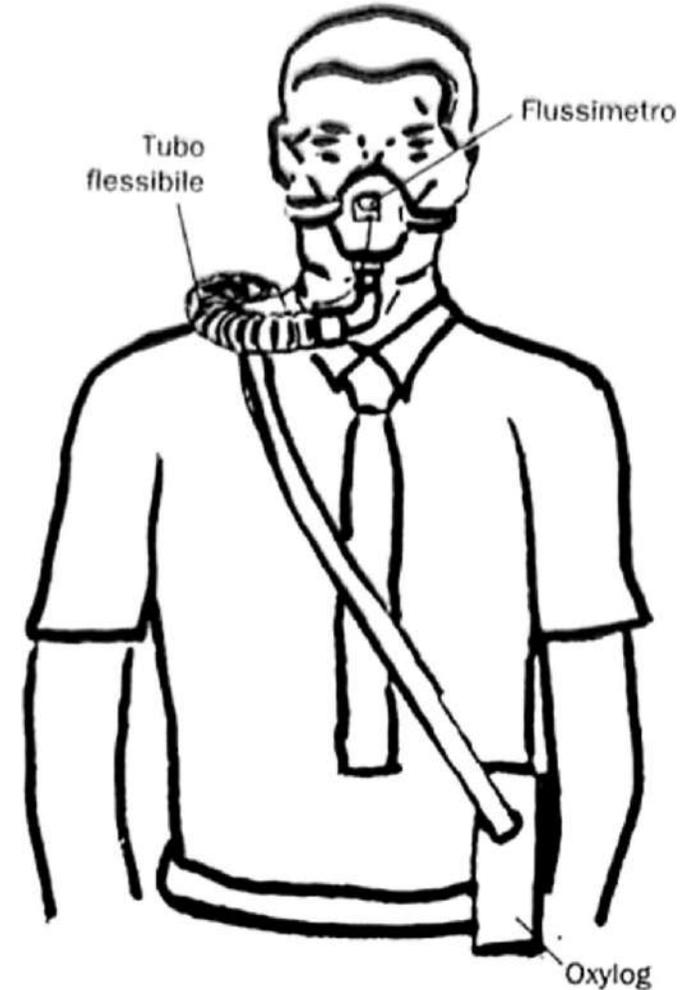


Altri apparecchi per la misurazione del dispendio energetico

Sacco Douglas (100 lt)

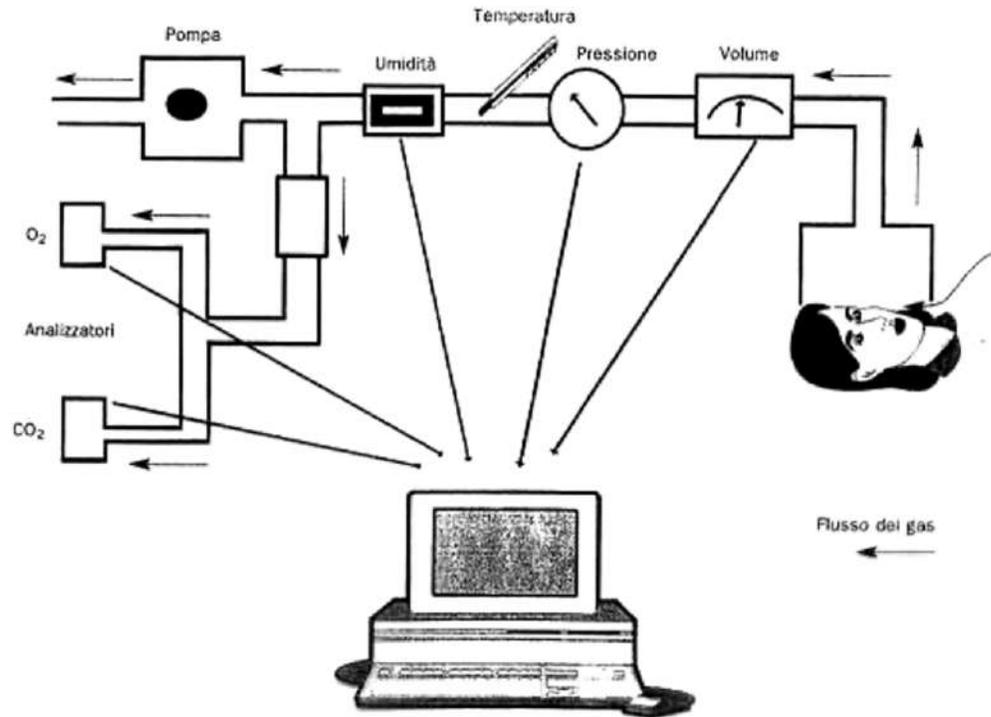


Respirometro portatile di Kofranyi- Michaelis (50 lt)

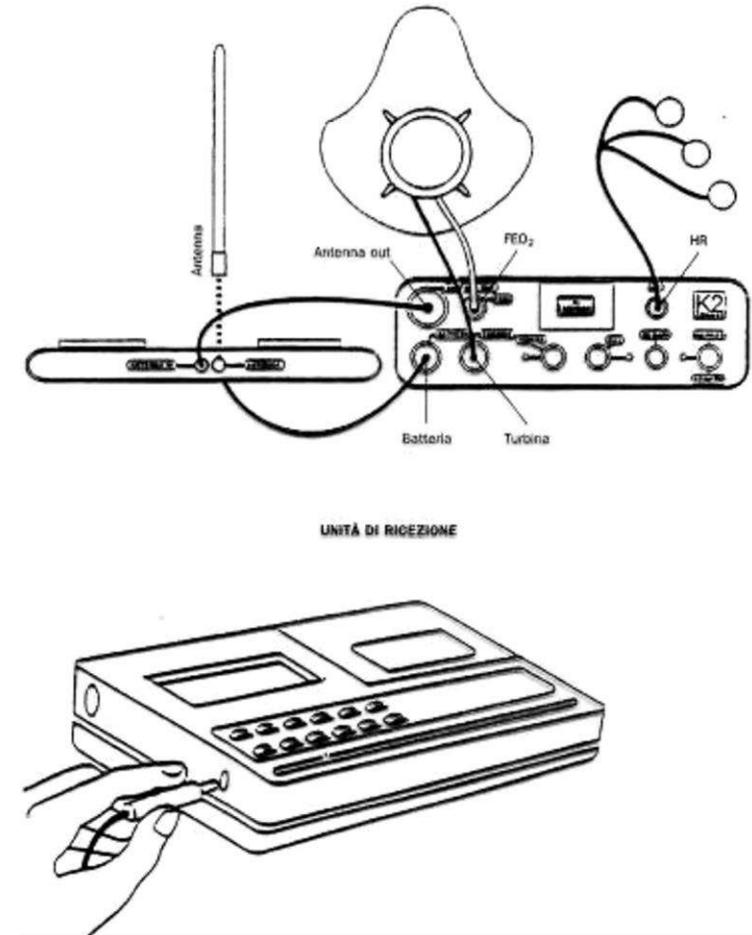


Apparecchio portatile Oxilog a batterie: calcola direttamente il dispendio energetico

Altri apparecchi per la misurazione del dispendio energetico



Ventilated hood: le misurazioni di volume, pressione, umidità, O_2 e CO_2 vengono elaborate da un computer per dare il valore finale



Sistema telemetrico K2: i valori rilevati di flusso, frequenza respiratoria e frequenza cardiaca vengono inviati via radio ad una stazione ricevente a batteria

Misurazione del metabolismo basale con la calorimetria indiretta

- Viene effettuata in condizioni di **riposo** fisico e psichico, a $T = 20 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$ a digiuno assoluto da 12/14h, meglio se a 48h dall'ultima ingestione di proteine.
- In queste condizioni il metabolismo proteico è trascurabile quindi risulterà inutile la determinazione dell'N ureico; il Q.R. avrà un valore mediamente costante = 0,82 e l'equivalente calorico dell'ossigeno sarà pari a 4,825 Kcal/l
- Basterà **misurare i litri di O_2 consumato in un determinato periodo e moltiplicare per l'equivalente calorico** per avere il valore del calore basale prodotto in Kcal/h

Metabolismo basale e superficie corporea

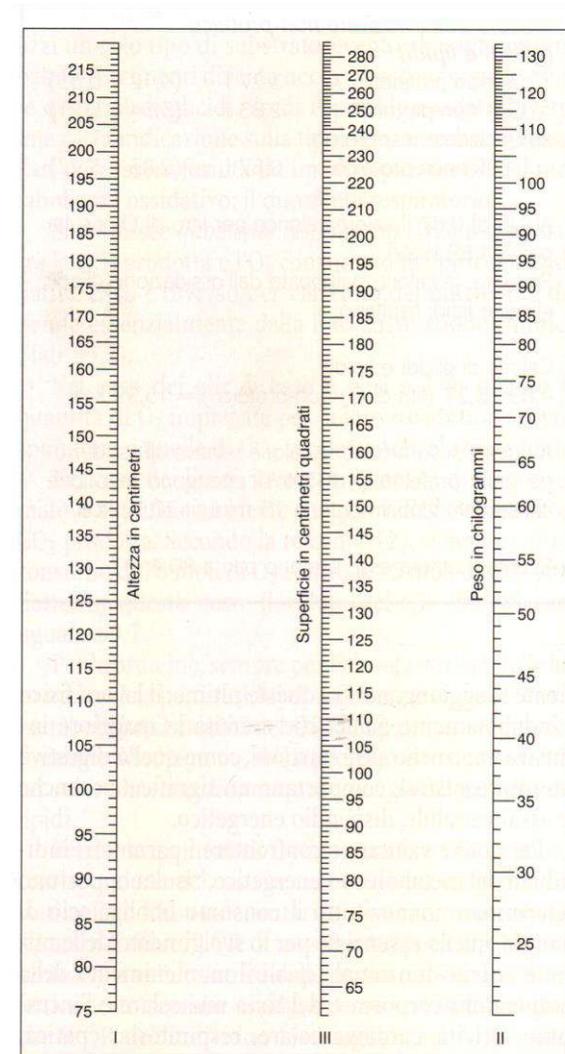
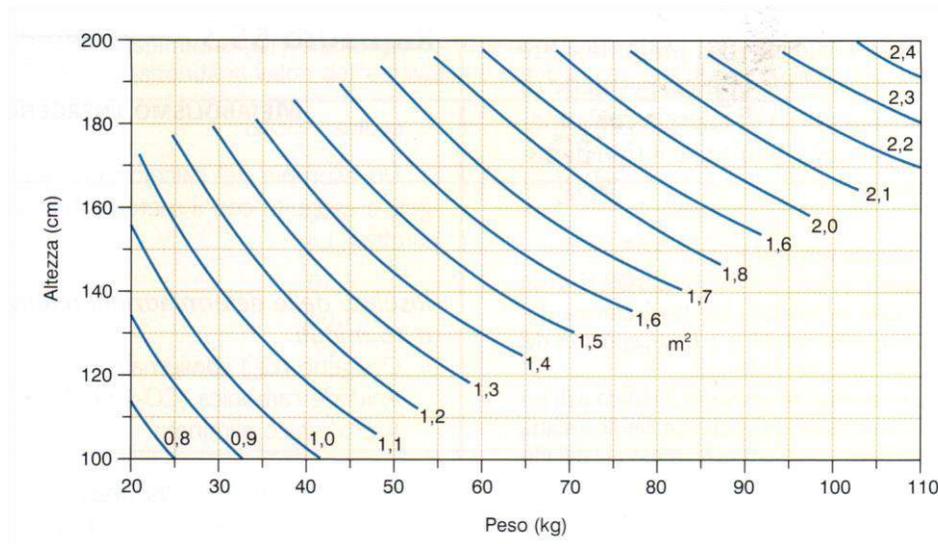
- Il MB è in relazione alla superficie corporea: i valori sono più alti in animali di taglia più piccola che hanno anche frequenza cardiaca e respiratoria più alte

<i>Animale</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>kcal prodotte in 24 ore</i>	
		<i>kg di peso</i>	<i>m² di superficie corporea</i>
Cavallo	441	11,3	948
Maiale	128	19,1	1.078
Uomo	64,3	32,1	1.042
Cane	15,2	51,5	1.039
Coniglio	2,3	75,1	776
Topo	0,018	212,0	1.188

Si noti come le chilocalorie prodotte in 24 ore siano molto differenti se rapportate al kg di peso corporeo, mentre assumono valori molto simili se riferite al metro quadrato di superficie corporea

Metabolismo basale e superficie corporea

- Esistono formule e diagrammi che permettono di calcolare la superficie corporea facendo riferimento alla statura e al peso corporeo



Formule per il calcolo del MB

☞ Sono riportate di seguito le formule più utilizzate per il calcolo del BMR in base a semplici parametri antropometrici o alla massa magra (*lean body mass*, LBM):

HARRIS-BENEDICT (1919)

Maschi: $BMR = 66,473 + 13,751 (Wt) + 5,0033 (Ht) - 6,755 (Age)$

Femmine: $BMR = 655,0955 + 9,463 (Wt) + 1,8496 (Ht) - 4,6756 (Age)$

BMR = kcal/die; Wt = peso in kg; Ht = statura in cm; Age = età in anni.

LARN (1987)

(per soggetti di età compresa tra 18 e 29 anni)

Maschi: $BMR = 15,3 (Wt) + 679$

Femmine: $BMR = 14,7 (Wt) + 496$

BMR = kcal/die; Wt = peso in kg.

CUNNINGHAM (1980)

$BMR = 500 + 22 (LBM)$

BMR = kcal/die; LBM = massa magra in kg.

DE LORENZO (2001)

(italiani di età compresa tra 18 e 59 anni)

Maschi: $BMR = 53,284 \cdot Wt + 20,957 \cdot Ht - 23,859 \cdot Age + 487$

Femmine: $BMR = 46,322 \cdot (Wt) + 15,744 \cdot Ht - 16,66 \cdot Age + 944$

BMR = kcal/die; Wt = peso in kg; Ht = statura in cm; Age = età in anni.

DE LORENZO (1999)

(atleti italiani di età compresa tra 18 e 29 anni):

Maschi: $BMR = -857 + 9 \cdot Wt + 11,7 \cdot Ht$

BMR = kcal/die; Wt = peso in kg; Ht = statura in cm. ☑

TABELLA 6.6 – EQUAZIONI DI PREDIZIONE DEL METABOLISMO DI BASE A PARTIRE DAL PESO CORPOREO (P) **LARN**

ETÀ (ANNI)	UOMINI MB (kcal/DIE)	DONNE MB (kcal/DIE)
< 3	59,5 P - 31	58,3 P - 31
3-9	22,7 P + 504	20,3 P + 485
10-17	17,7 P + 650	13,4 P + 693
18-29	15,3 P + 679	14,7 P + 496
30-59	11,6 P + 879	8,7 P + 829
60-74	11,9 P + 700	9,2 P + 688
≥ 75	8,4 P + 819	9,8 P + 624

Da: Commission of the European Communities, 1993.



→ Il metodo di valutazione del consumo energetico più usato è:

- la Formula di Harris-Benedict che calcola il BEE o Basal Energy Expenditure:
 - Uomo: $66.47 + 13.75 * P + 5.00 * A - 6.76 * E$
 - Donna: $655.10 + 9.56 * P + 1.85 * A - 4.68 * E$
- In cui:
- P = peso
- A = altezza
- E = età

Fattori che influenzano il metabolismo basale

- **Sesso**: più elevato nel maschio, soprattutto a partire dal periodo puberale
- **Età**: più elevato alla nascita e nel periodo infantile, decrescono fino a raggiungere il minimo negli anziani

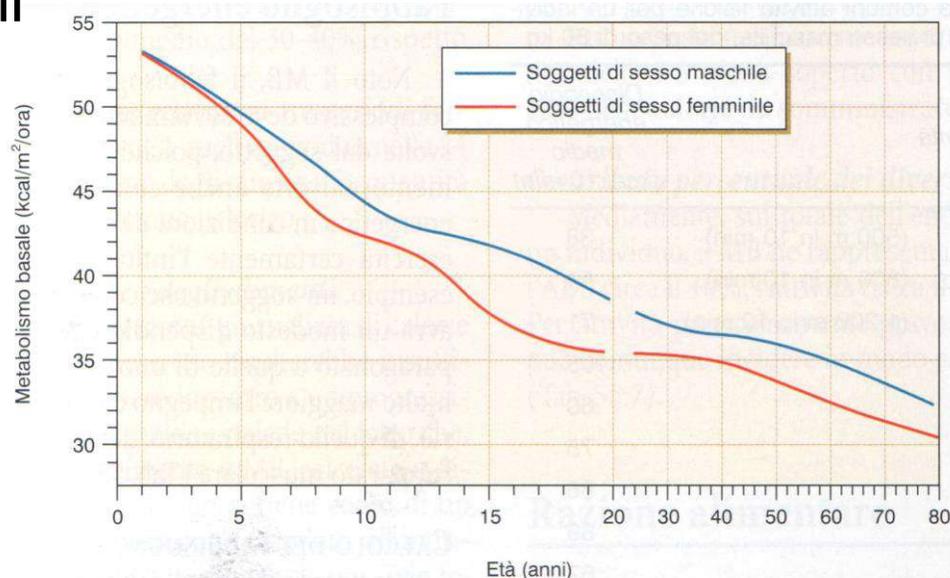


Tabella 55.5 Valori medi del metabolismo basale nei due sessi alle diverse età (secondo Fleisch)

Età (anni)	Maschi (kcal/m ² /ora)	Femmine (kcal/m ² /ora)
1	53,0	53,0
3	51,3	51,2
5	49,3	48,4
7	47,3	45,5
9	45,2	42,8
11	43,0	42,0
13	42,3	40,3
15	41,8	37,9
18	40,0	35,9
20	38,6	35,3
35	36,5	35,0
50	35,8	33,9
65	34,4	32,2
80	33,0	30,9

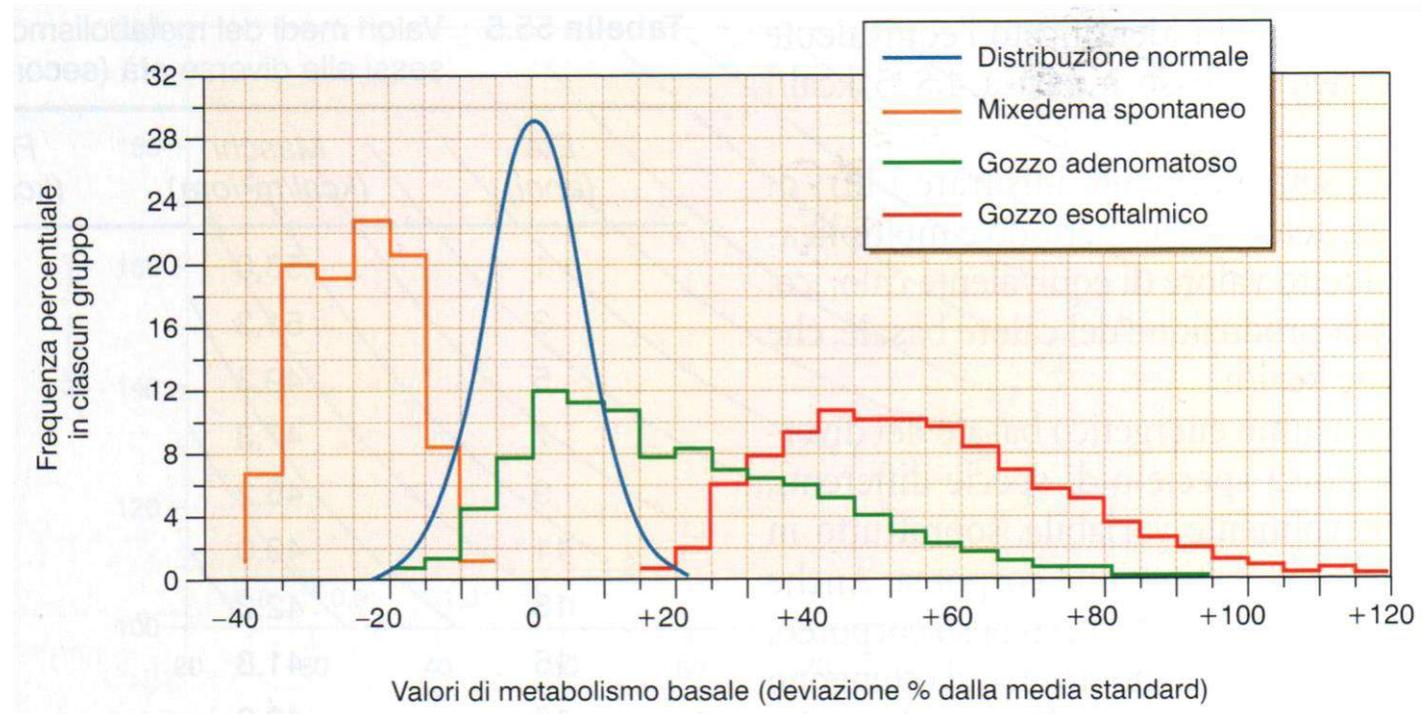
Si noti come la differenza sia minima alla nascita e nel periodo infantile, per diventare più accentuata in seguito, soprattutto nel periodo puberale

Fattori che influenzano il metabolismo basale

- **Razza**: es. gli orientali hanno un metabolismo più basso dei soggetti di razza bianca
- **Il clima ed il susseguirsi delle stagioni**: i valori sono più alti nei climi freddi e nei periodi invernali
- **Malnutrizione**: il MB diminuisce fino al 20-30% in caso di malnutrizione o digiuno
- **Sonno**: riduzione del 10-15% per riduzione del tono della muscolatura scheletrica e per diminuzione di attività del simpatico
- **Febbre**: ogni 10°C il MB aumenterebbe del 120%, ma ciò non si verifica grazie alla termoregolazione

Fattori che influenzano il metabolismo basale

- **Ormoni**: si ha un aumento del MB fino al: 10-15% grazie agli *ormoni sessuali maschili*; 15-20% grazie *all'ormone della crescita*; 50-100% in presenza di quantità massimali *dell'ormone tiroideo*



Fattori che influenzano il metabolismo basale

- **Stile di vita:** lo *sforzo muscolare* intenso può aumentare la produzione di calore fino al 2000% rispetto alla norma; la *vita sedentaria* riduce il MB; negli *ultimi tre mesi di gravidanza* il MB aumenta; *ansia e stress* aumentano il MB per *eccitazione del simpatico* (effetto di *adrenalina e noradrenalina* che, tra l'altro, promuovono la glicogenolisi nel fegato e nel muscolo);

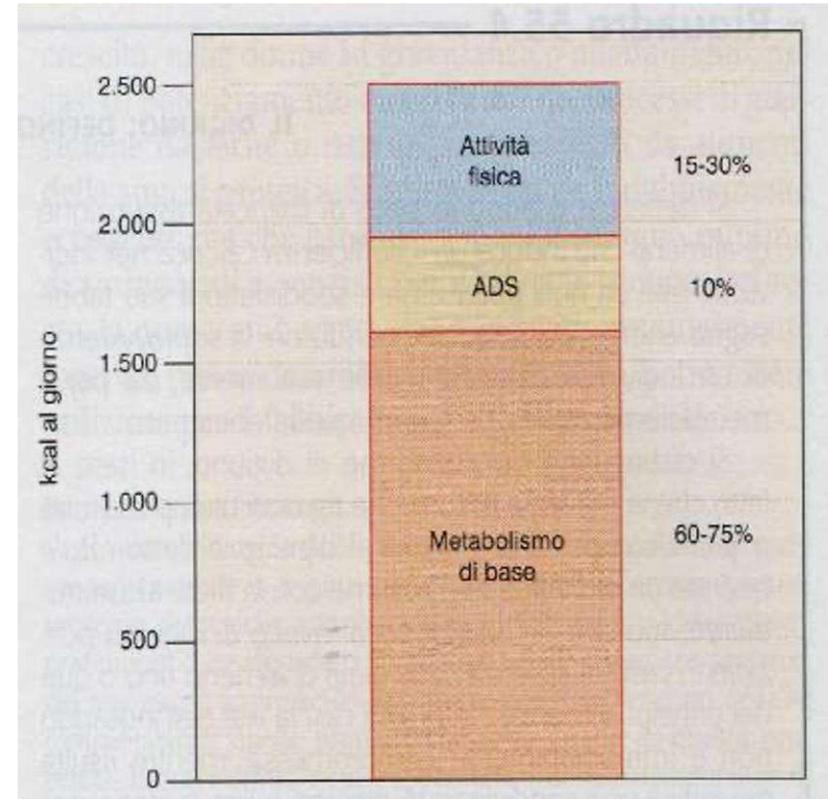
Attività	Dispendio energetico medio (kcal/10 min)
Cammino lento (500 m in 10 min)	38
Cammino moderato (800 m in 10 min)	54
Cammino veloce (1.200 m in 10 min)	71
Nuoto	105
Bicicletta	60
Aerobica	75
Voga	86
Escursionismo	89
Giardinaggio	67

I valori indicano le chilocalorie mediamente consumate in dieci minuti di ciascuna attività

Attività	Dispendio energetico medio (kcal al giorno)
Donne	
Casalinga	2.100
Commessa	2.300
Studentessa	2.400
Operaia	2.600
Lavori pesanti (agricoltura eccetera)	3.000
Uomini	
Pensionato	2.400
Impiegato	2.600
Studente	3.000
Operaio	3.500
Lavoratore (agricoltura)	3.700
Minatore, boscaiolo	4.500

Calcolo del fabbisogno calorico giornaliero

- Si può suddividere la giornata in tre periodi di otto ore ciascuno:
- **I periodo**: sonno o riposo
- **II periodo**: attività lavorativa
- **III periodo**: normali attività non lavorative (ricreative, domestiche, cura della persona, ecc.)
- A questo va aggiunto un valore medio del 10% per via **dell'azione dinamico-specifica degli alimenti (ADS) o termogenesi indotta dalla dieta**, dovuta ai processi di digestione, assorbimento e metabolismo dei nutrienti



Metodo fattoriale

Si basa sulla **registrazione** precisa su un diario di **tutti i movimenti** e le azioni compiute nell'arco della giornata. La registrazione verrà effettuata per una settimana e quanto più sarà fedele, tanto più preciso sarà il calcolo del metabolismo energetico dell'individuo, al quale si risalirà utilizzando tabelle standard.

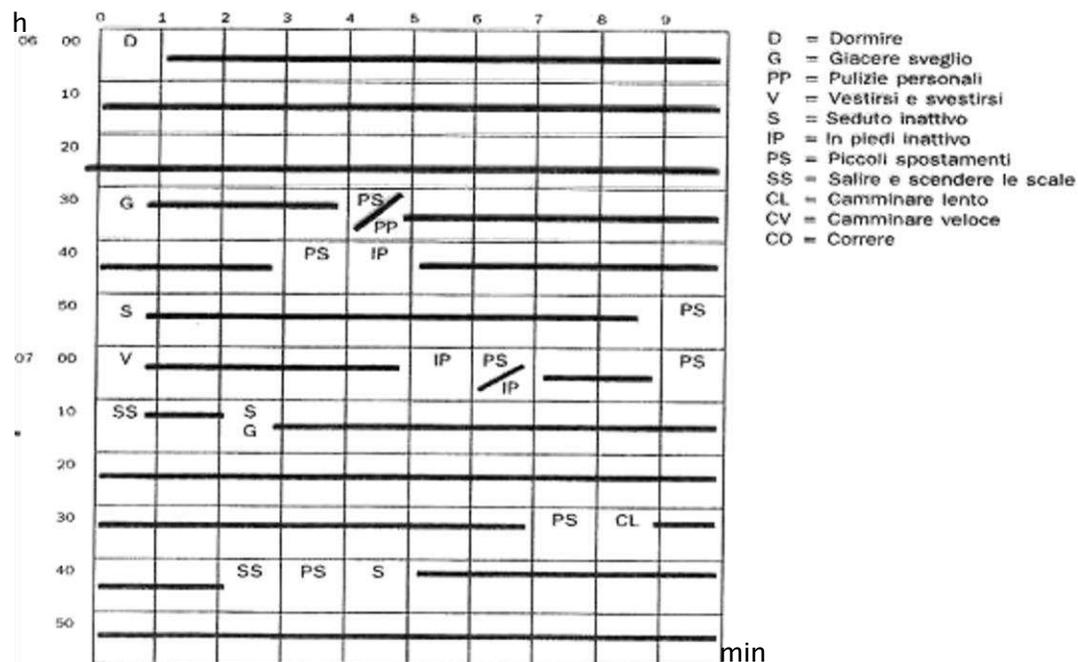


TABELLA 8.3 - CALCOLO DEL DISPENDIO ENERGETICO DI UN UOMO ADULTO (PESO 85 kg, STATURA 175 cm) PER UN ARCO DI 10 ORE

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITA	DURATA (MIN)	COSTO CALORICO (kcal/MIN)	TOTALE (kcal)
Dormire	480	1,12	538
Cura della persona	30	2,30	69
Seduto inattivo	30	1,80	97
In piedi	15	2,00	30
Camminare	15	3,90	59
Jogging (11 Km/h)	30	15,50	465

La massa magra

- Sebbene si continui ad usare per la sua semplicità e comodità, il principio delle superfici è stato messo in discussione dal momento in cui si è riscontrato che **le diverse masse corporee forniscono un contributo diverso al MB.**
- Infatti la massa corporea che rende conto del consumo di ossigeno è in realtà **la massa magra**, cioè la componente cellulare di tutti gli organi interni e del tessuto muscolare, che rappresenta la massa metabolicamente attiva.
- La massa magra presenta significative differenze tra i due sessi, è influenzata dal genoma e si modifica con l'età, la dieta, l'attività fisica, le malattie, così come la composizione corporea

Le masse dell'organismo

- **FM = Fat Mass**: massa grassa, quasi totalmente anidra, costituita dai lipidi di deposito + “grasso essenziale” (contenuto nelle membrane cellulari, nelle strutture nervose e, per le donne, nelle mammelle e nei fianchi)
- **LBM = Lean Body Mass**: massa magra costituita da: glicogeno, sali minerali, proteine, acqua totale (TBW Total Body Water) + “grasso essenziale”
- **FFM = Fat Free Mass**: solo massa magra, senza tracce di grasso = massa metabolicamente attiva
- Questi parametri sono molto importanti per stabilire lo **stato nutrizionale del soggetto** perché le variazioni del rapporto tra massa magra e grassa riflettono alterazioni metaboliche e funzionali

Componenti della massa magra

	<i>Grasso di deposito</i> (%)	<i>Grasso essenziale</i> [*] (%)
Uomini	12	3
Donne	15	12

* Membrane, strutture nervose, caratteri sessuali secondari (per la donna)

Metodi per la misurazione della composizione corporea che tengono conto di FM e FFM

- **Metodo della diluizione o idrometria**
- **Tecnica della bioimpedenza**
- **Densitometria**
- **Misurazione del K e dell'N totali**
- **Metodi antropometrici comprendenti:
plicometria e misurazione delle circonferenze corporee**

Metodo della diluizione o idrometria

- Utilizza **l'ossido di Deuterio ($^2\text{H}_2\text{O}$)** che, come l'acqua, si distribuisce a tutti i compartimenti idrici. Quando viene raggiunto l'equilibrio, si effettua un dosaggio nei liquidi corporei (sangue, urina, saliva) con metodo spettrofotometrico e si stabilisce la Concentrazione per unità di Volume (**$C = Q/V$**). Da questa si risale al volume (**$V=Q/C$**) e con formule prestabilite si ricavano FM ed FFM

Tecnica della bioimpedenza

- Si basa sul fatto che il corpo umano è un **buon conduttore di elettricità**. In particolare: al passaggio di una corrente alternata, il corpo umano risponde con una **impedenza che è inversamente proporzionale al suo contenuto in acqua ed elettroliti** (quindi, + acqua ed elettroliti, cioè + FFM, = minore impedenza).
- A seguito di stimolazione a **bassa frequenza** (inferiore o uguale a 5KHz) la corrente percorre in prevalenza il compartimento **extracellulare**, mentre per stimolazione **a frequenza maggiore o uguale a 100 KHz**, la corrente attraversa il compartimento **intracellulare**.
- Formule prestabilite che tengono conto dell'altezza e dell'indice di impedenza in base alla frequenza consentono di risalire alla TBW (acqua corporea totale) e alla ECW (acqua extracellulare) e quindi alla composizione corporea

Densitometria

La misurazione della massa magra, in questo caso, si basa sul **principio di Archimede**, per il quale il Volume di un corpo immerso in un liquido è uguale al peso del liquido spostato:

$$BV = \frac{BWa - BWw}{Dw}$$

BV = volume corporeo; BWa = peso corporeo in aria; BWw = peso corporeo in acqua; Dw = densità dell'acqua

Tale misurazione viene effettuata al termine di una espirazione forzata, cosicché il calcolo viene effettuato eliminando il volume polmonare residuo (± 1000 ml) ed il gas intestinale (± 100 ml) ed utilizzando formule prestabilite che si basano su valori di densità noti

**TABELLA 17.2 - DENSITÀ DELLA MASSA MAGRA
E DELLE SUE COMPONENTI NELL'UOMO DI RIFERIMENTO**

	DENSITÀ A 36 °C (kg/l)	
Acqua	0,99371	
Proteine	1,34	
Minerali	3,038	
ossei	2,982	
extraossei	3,317	
Glicogeno	1,52	
FFM (fat-free mass)	1,10	FM = 0,9 kg/l

Misurazione del K e del N totali

- Il primo viene misurato utilizzando il ^{40}K che viene rilevato dal γ -counter, mentre il secondo viene effettuato con tecnica di derivazione neutronica.
- In entrambi i casi si tratta di tecniche molto costose

Metodi antropometrici

- Sono i metodi più facili e più comuni per misurare la massa corporea partendo da:
 - **peso corporeo**
 - **statura**
 - **circonferenze**
 - **pliche corporee**

Indice di massa corporea (IMC o BMI)

- Fra gli indici basati sulla relazione peso- statura, il **BMI** è quello più utilizzato: è espresso in **Kg/m²** (= peso in Kg e quadrato della statura in m)
- E' poco preciso e va **corretto con altri indici** per evitare falsi positivi e falsi negativi (es. un atleta di 1,80 m di h e di 80-100 Kg di peso potrebbe essere considerato in sovrappeso, ma in questo caso si tratta di massa magra e non grassa)

TABELLA 16.3 - VALORI SOGLIA DI IMC E DELLE CORRISPONDENTI CONDIZIONI DI PESO (UOMINI E DONNE SOPRA I 18 ANNI)

IMC	CONDIZIONI DI PESO
Sotto 16	Sottopeso grave
16,00 - 16,99	Sottopeso moderato
17,00 - 18,49	Sottopeso lieve
18,50 - 24,99	Normopeso
25,00 - 29,99	Sovrappeso o pre-obesità
30,00 - 34,99	Obesità lieve o di 1 ^a classe
35,00 - 39,99	Obesità moderata o di 2 ^a classe
40 ed oltre	Obesità grave o di 3 ^a classe

TABELLA 16.4 - PERCENTUALE DELLA POPOLAZIONE ITALIANA NELLE VARIE CLASSI DI IMC

	UOMINI (%)	DONNE (%)	TOTALE (%)
Sottopeso	4	17,2	11,0
Normopeso	49	52,2	50,8
Sovrappeso	40	24,5	31,6
Obesi	7	6,1	6,5

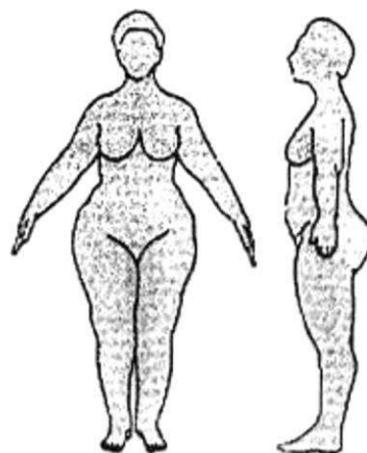
Da: Istat, 1994.

La plicometria

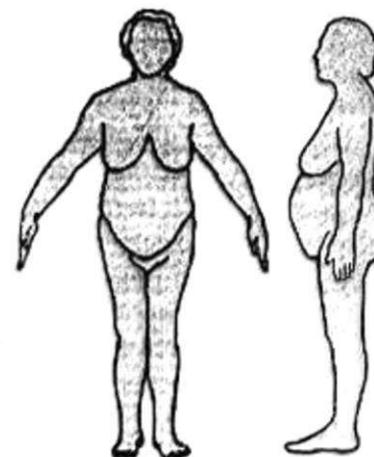
- Consente di misurare lo **spessore del pannicolo adiposo sottocutaneo**
- Questo spessore tende a diminuire con l'età perché il grasso tende a depositarsi sempre più verso l'interno
- Vi è differente distribuzione del grasso nell'uomo (addome), **distribuzione androide**, e nella donna (fianchi e arti), **distribuzione ginoide**



Obesità armonica



Obesità ginoide, periferica o a «pera»



Obesità androide, centrale o «mela»

Siti di misurazione delle pliche

**TABELLA 17.8 - LE Pliche PIÙ FREQUENTEMENTE MISURATE
PER LA VALUTAZIONE DELLA COMPOSIZIONE CORPorea**

PLICA	SITO DI MISURAZIONE
Tricipitale	La plica viene sollevata sulla faccia posteriore del braccio in corrispondenza del punto medio di una linea tracciata tra il margine laterale del processo coraco-acromiale della scapola e il margine inferiore del processo olecranico dell'ulna.
Bicipitale	La plica viene sollevata sulla faccia anteriore del braccio 1 cm al di sopra del punto contrassegnato per la misurazione della plica tricipitale, su una linea verticale che congiunge il margine anteriore dell'acromion e il centro della fossa antecubitale.
Sottoscapolare	La plica viene sollevata su una linea diagonale a inclinazione infero-laterale, a 45° rispetto al piano orizzontale.
Sovrallanca	La plica viene sollevata sulla linea medio-ascellare, immediatamente al di sopra della cresta iliaca, a 45° rispetto al piano orizzontale.
Addominale	La plica viene misurata 1 cm al di sotto e 3 cm di lato all'ombelico.
Coscia (anteriore)	La plica viene misurata sulla faccia anteriore della coscia in corrispondenza del punto medio di una linea tracciata tra la piega inguinale e il margine prossimale della rotula.

Da: Battistini e Bedogni, 1992a.

Parametri respiratori nell'uomo standard

Parametri	Valori
Capacità totale polmonare	6000 ml
Rate respiratorio	6000 ml min ⁻¹
Volume tidale	500 ml
Cicli completi respiratori	12 min ⁻¹

Processo respiratorio:

Scambio di gas respiratori (ossigeno e anidride carbonica) tra il corpo e l'ambiente



Tre funzioni della respirazione:

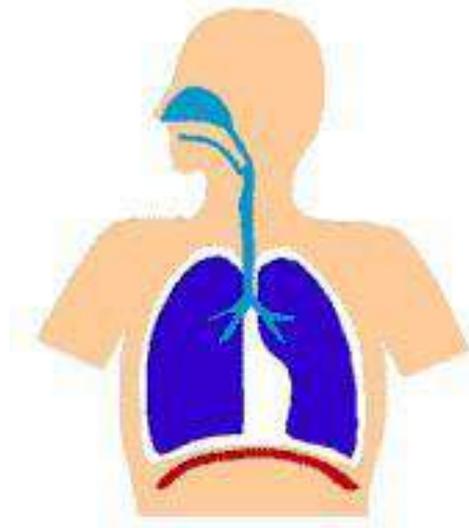
- Ventilazione (respiro)
- Scambio di gas (tra aria e capillari nei polmoni e tra capillari sistemici e tessuti nel corpo)
- Consumo di ossigeno (respirazione cellulare)

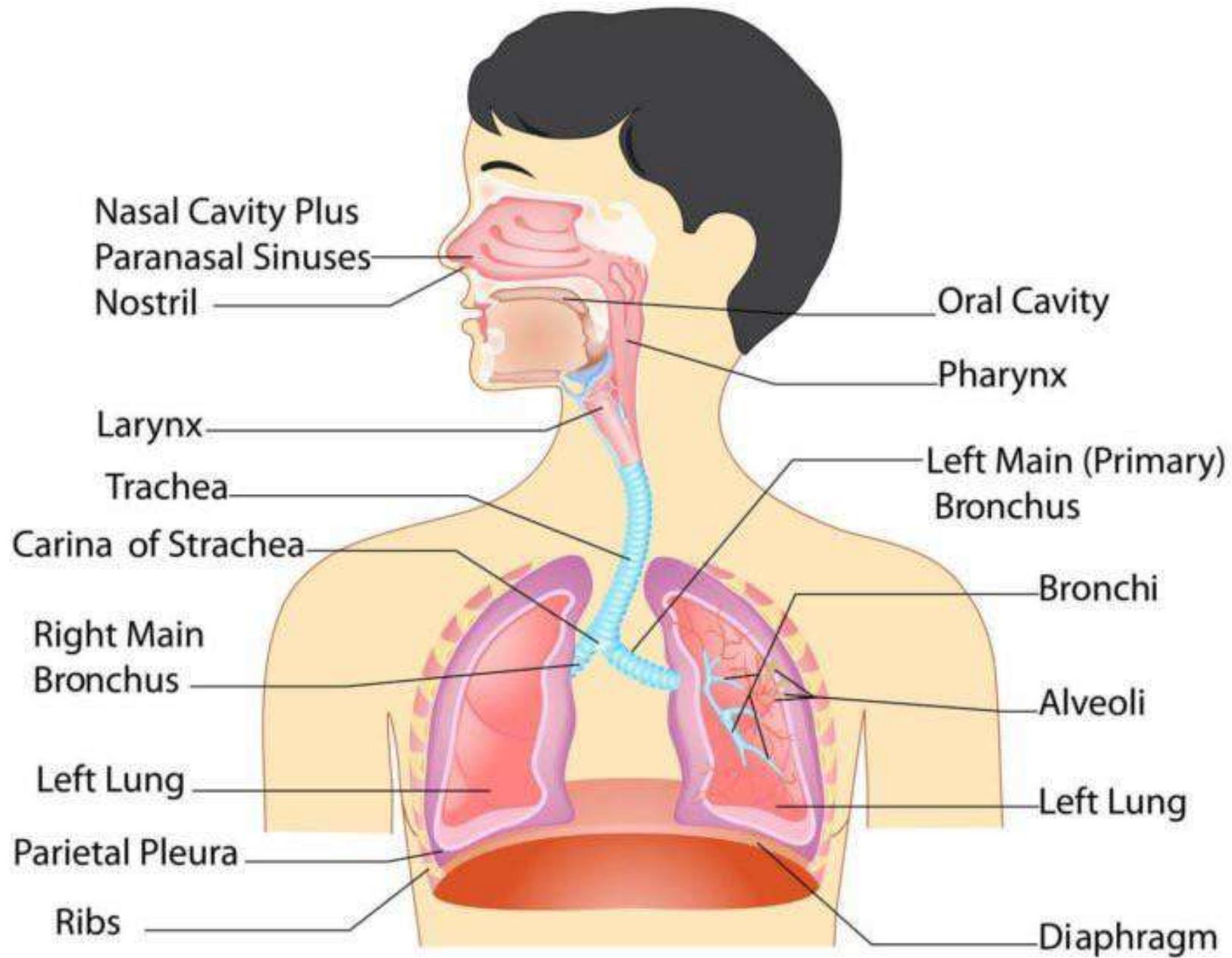
Tre funzioni della respirazione:

Il **respiro** è lo scambio di aria tra esterno ed interno dei polmoni

Lo **scambio di gas** è l'ingresso di ossigeno e l'uscita di anidride carbonica sulla superficie dei polmoni. L'ossigeno va nel sangue e l'anidride carbonica viene rimossa dal sangue.

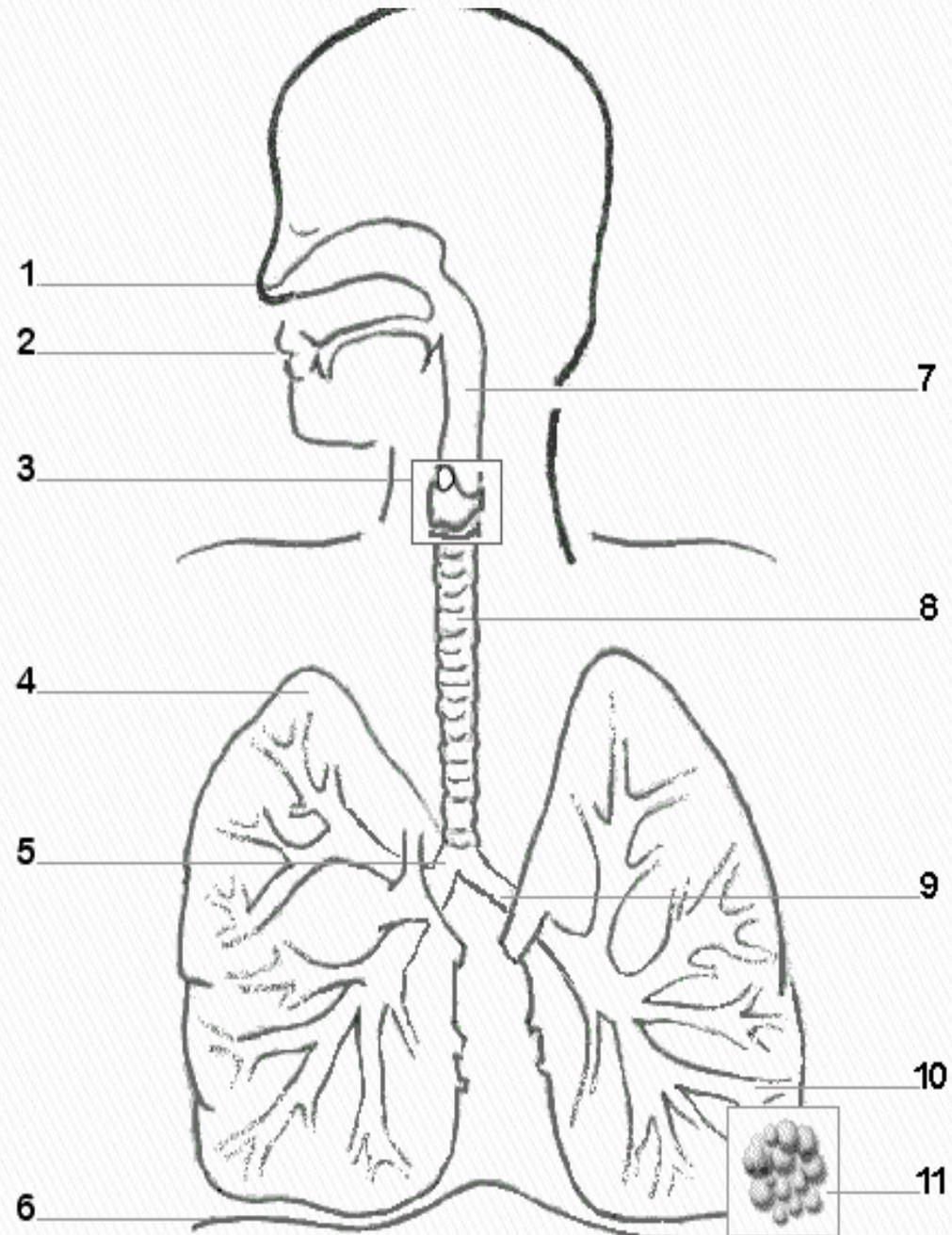
La **respirazione cellulare** è il processo che rilascia energia dal cibo ed avviene in tutte le cellule.





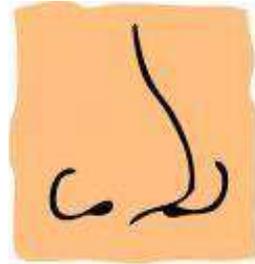
Percorso dell'aria

- 1 Nose**
- 2 Mouth**
- 3 Larynx**
- 4 Lungs**
- 5 Bronchi**
- 6 Diaphragm**
- 7 Pharynx**
- 8 Trachea**
- 9 Bronchi**
- 10 Bronchioles**
- 11 Alveoli**



Percorso dell'aria: 1) Naso e bocca

- Organo dove entra l'aria nel corpo

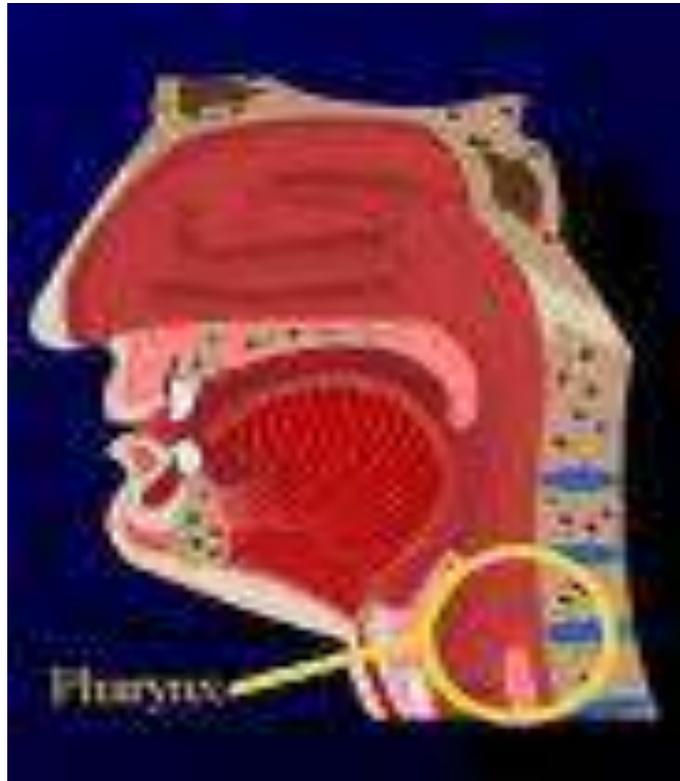


- Ingresso secondario dell'aria nel corpo



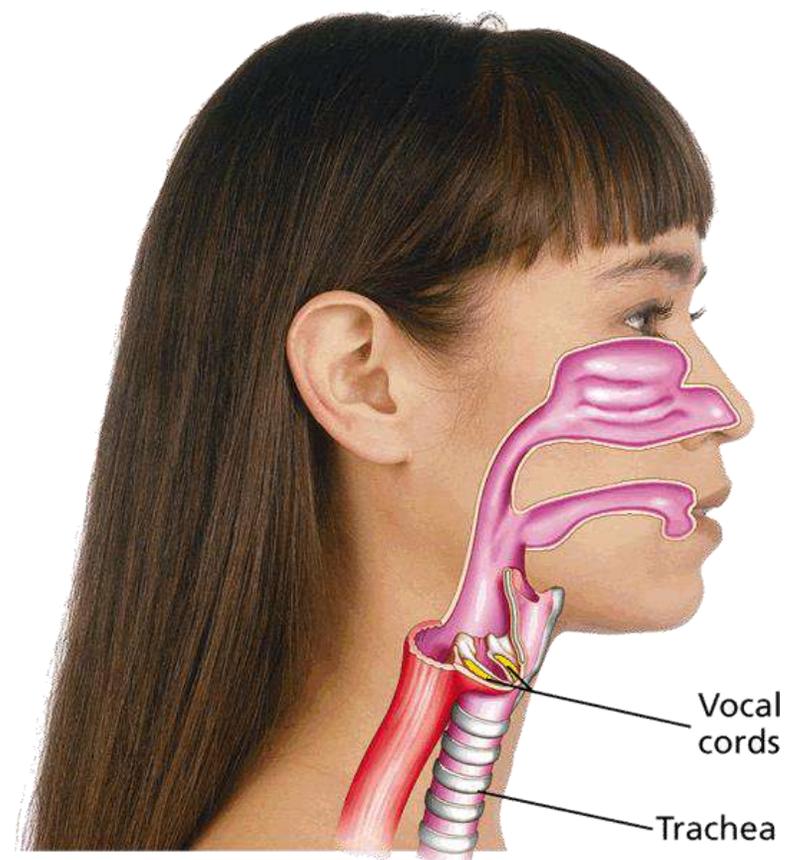
Percorso dell'aria: 2) Faringe (gola)

- Dopo che l'aria attraversa naso e bocca va giù nella faringe



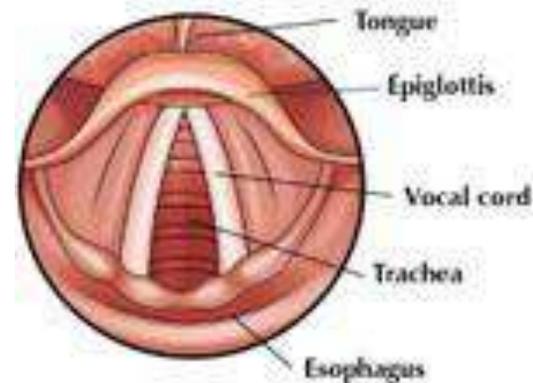
Percorso dell'aria : 3) Laringe

- Passaggio per l'aria
- L'epiglottide impedisce il passaggio nel tratto digerente
- Corde vocali



La voce

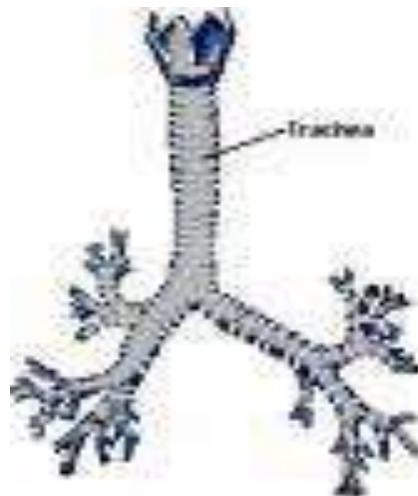
- Laringe- La parte relativa alla voce si trova nella zona superiore della trachea, subito sotto l'epiglottide
- Corde vocali- Foglietti di tessuto connettivo che si sviluppano attraverso l'apertura della laringe, che producono la voce



LARYNGOSCOPIC VIEW

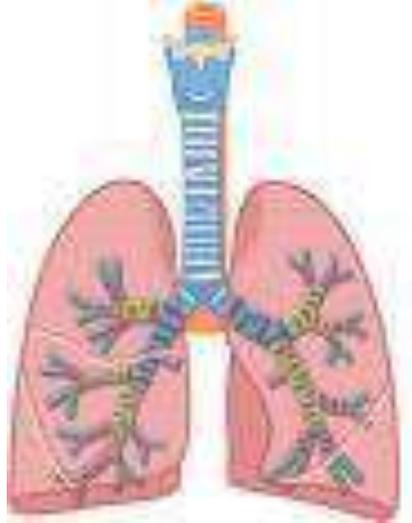
Percorso dell'aria : 4) Trachea

- La trachea porta dalla faringe ai polmoni. Le pareti della trachea sono costituite da anelli di cartilagine che la proteggono dal collasso.



Percorso dell'aria: 5) Bronchi

- Portano l'aria ai polmoni



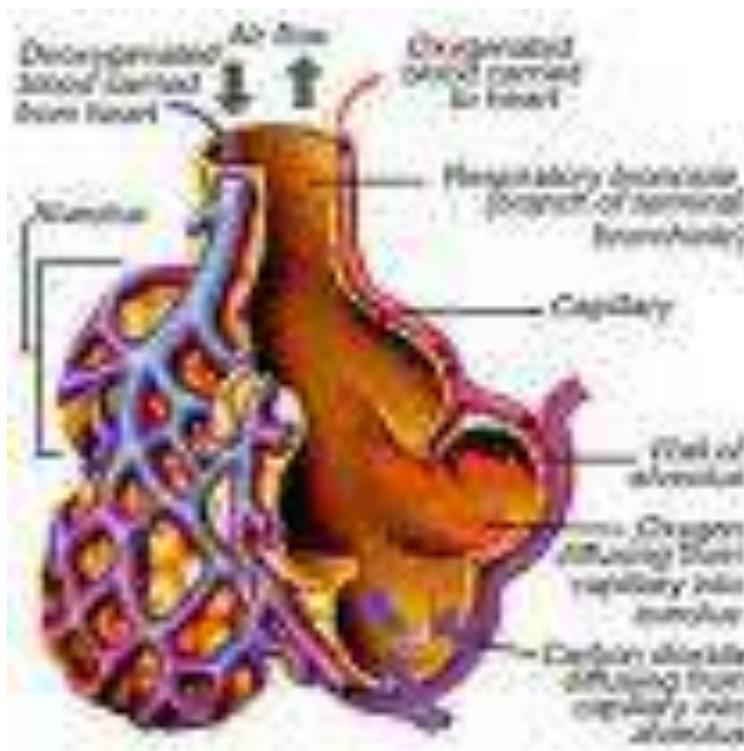
Percorso dell'aria: 6) Polmoni e bronchioli

- I polmoni sono l'organo principale dell'apparato respiratorio, dove l'aria si muove attraverso bronchi sempre più piccoli (bronchioli) fino a raggiungere gli alveoli.



Percorso dell'aria: 7) Alveoli

- Gli alveoli sono minuscole sacche di tessuto polmonare specializzate nel movimento tra aria e sangue. (Sembrano acini d'uva)



Fun facts

- A riposo, l'organismo inspira ed espira circa 10 litri di aria al minuto.
- Il polmone destro è leggermente più grande del sinistro.
- La massima "velocità di starnuto" registrata è di 165 km all'ora.
- La superficie dei polmoni è all'incirca pari a quella di un campo da tennis.
- I capillari dei polmoni si estenderebbero per 1.600 chilometri se messi da una parte all'altra.
- Con la respirazione perdiamo mezzo litro d'acqua al giorno. Questo è il vapore acqueo che vediamo quando respiriamo su un vetro.
- Una persona a riposo di solito respira tra le 12 e le 15 volte al minuto.
- La frequenza respiratoria è più veloce nei bambini e nelle donne che negli uomini.
- Ventilazione:
 - Il processo di scambio di aria tra i polmoni e l'aria ambiente.
 - Il flusso d'aria nel sistema respiratorio è direttamente proporzionale al gradiente di pressione e inversamente correlato alla resistenza delle vie aeree.
 - Un singolo ciclo respiratorio = ispirazione + espirazione

Ciclo respiratorio

Inspiration

- Lung air pressure < Atmosphere air pressure

Diaphragm & inspiratory muscles contract →
Thoracic cavity expands → negative pressure →
air flows into lungs

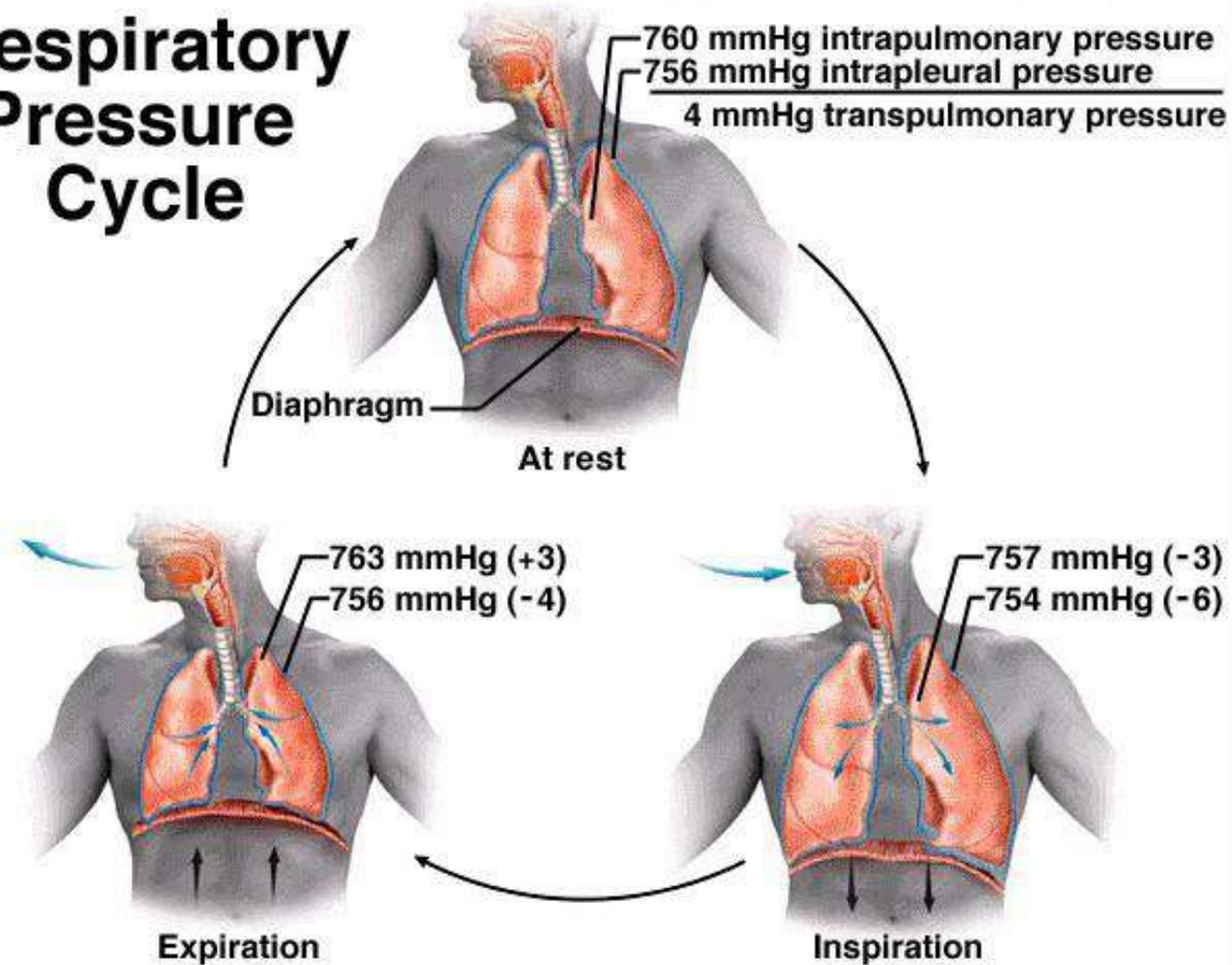
Expiration

- Passive process resulting from natural elastic recoil of the expanded lung walls.
- During rapid breathing, internal intercostal and abdominal muscles contract to help force air out at a more forceful, rapid rate)

Ciclo respiratorio

Kenneth S. Saladin, ANATOMY AND PHYSIOLOGY: THE UNITY OF FORM AND FUNCTION, Copyright © 1998, The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Respiratory Pressure Cycle





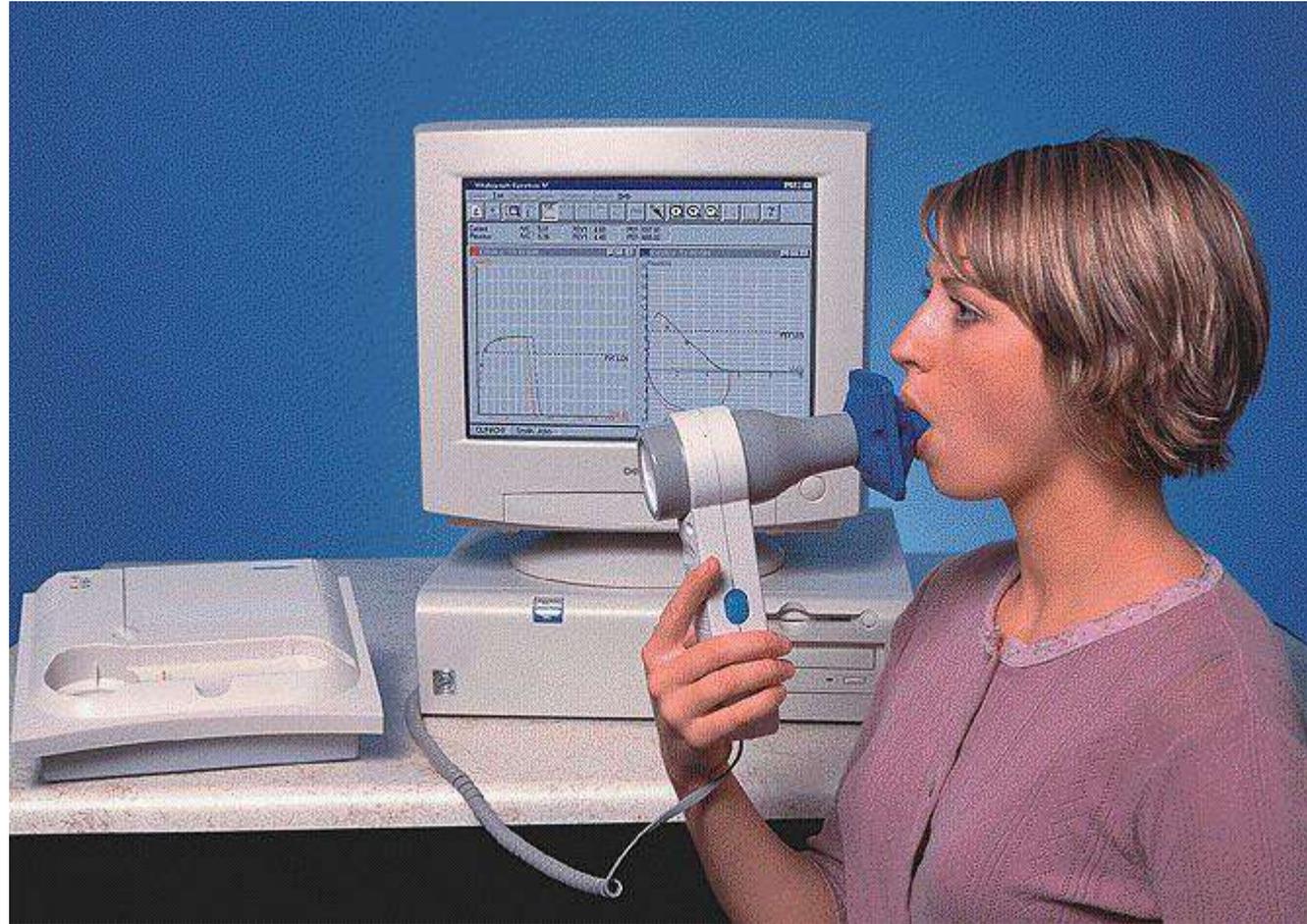
Sensori

- Spirometro (Gold Standard)
- Pletismografia induttiva
- Pletismografia a impedenza
- Pneumografia piezoresistiva
- Pneumografia piezoelettrica
- Flusso termico

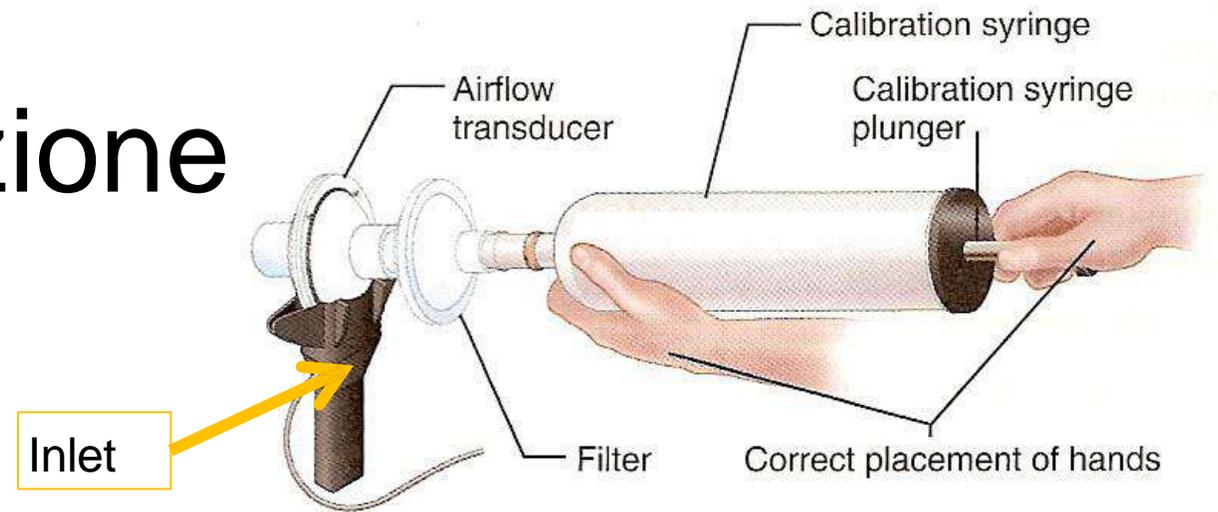
Cos'è la spirometria?

- La spirometria è il metodo GOLD STANDARD per valutare la funzionalità polmonare, misurando il volume d'aria che il paziente può espellere dai polmoni dopo un'espirazione massima.

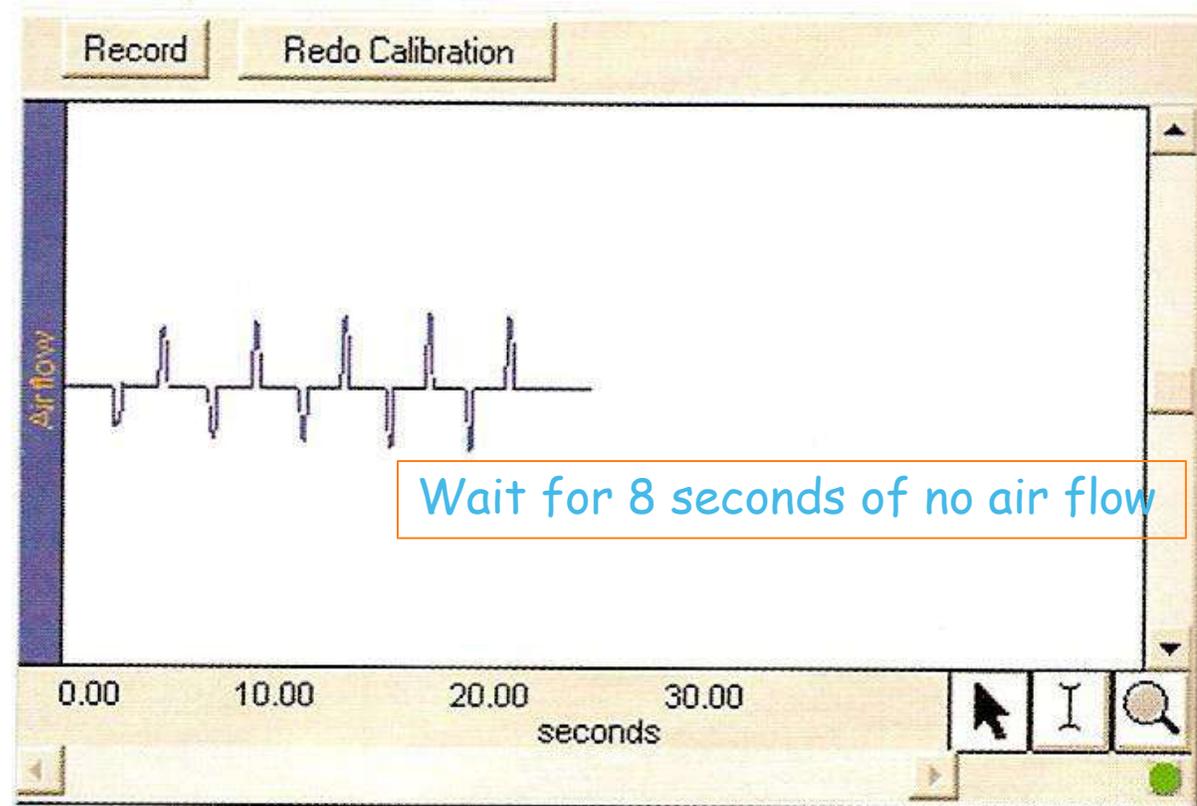
Spirometro



Spirometria-calibrazione

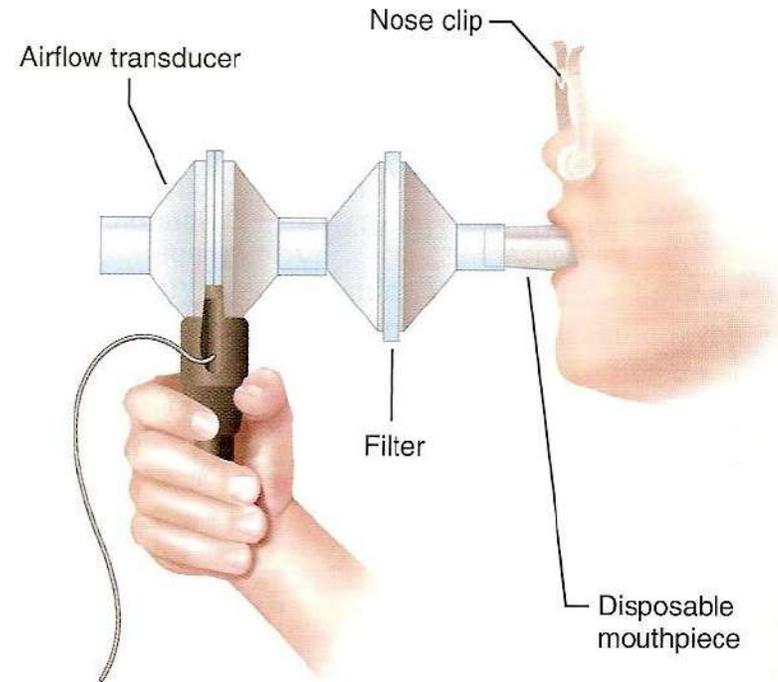


Inserire il gruppo siringa/filtro di calibrazione nel lato del trasduttore di flusso d'aria etichettato come "Ingresso".

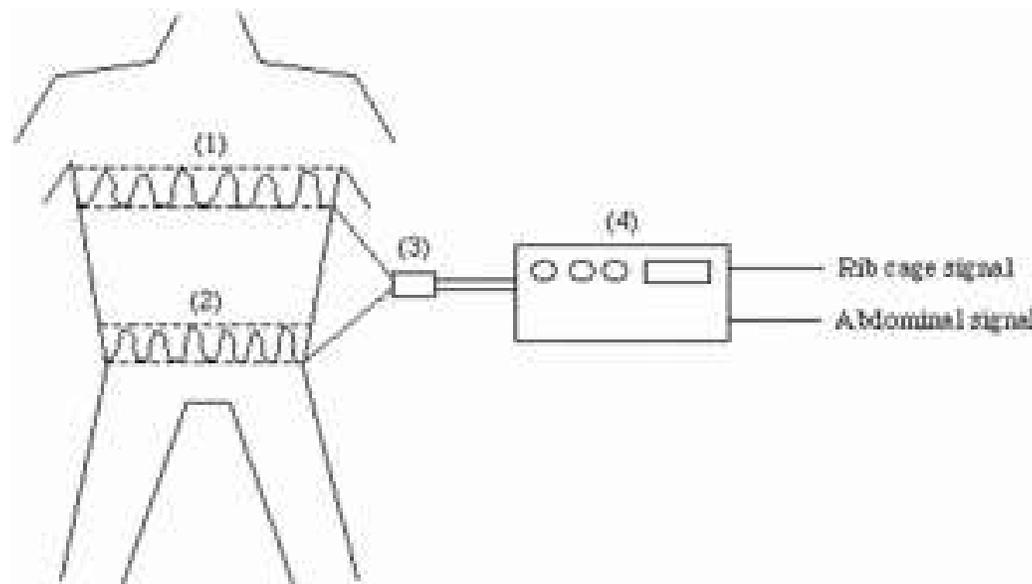


Trattamenti sperimentali

- 4 respiri normali
- Inspirare il più profondamente possibile
- Espirare a profondità normale
- 3 respiri normali
- Espirare il più possibile
- 3 respiri normali
- Inspirare il più possibile
- Espirare il più velocemente e completamente possibile
- 4 respiri normali

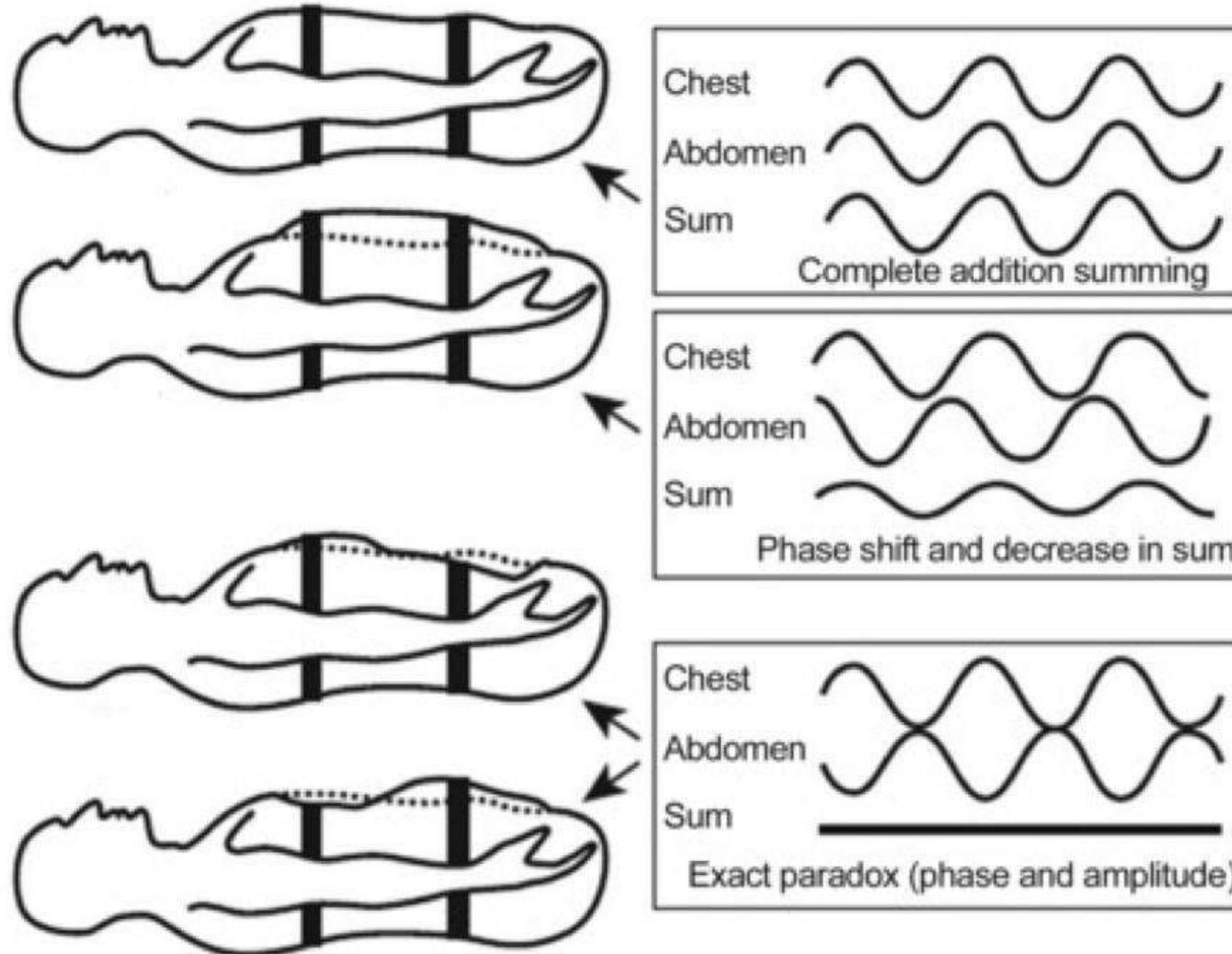


Pletismografia induttiva



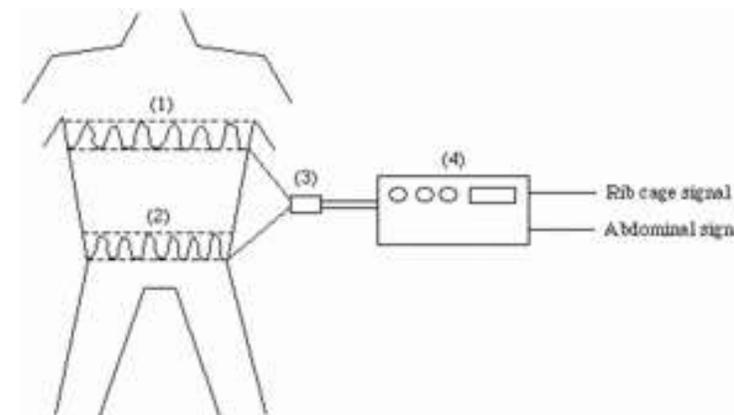
- Il sistema di pletismografia induttiva respiratoria comprende le bande di sensori toracici (1) e addominali (2), l'oscillatore (3) e il demodulatore del segnale (4).

Respirazione a doppia banda



Pletismografia induttiva

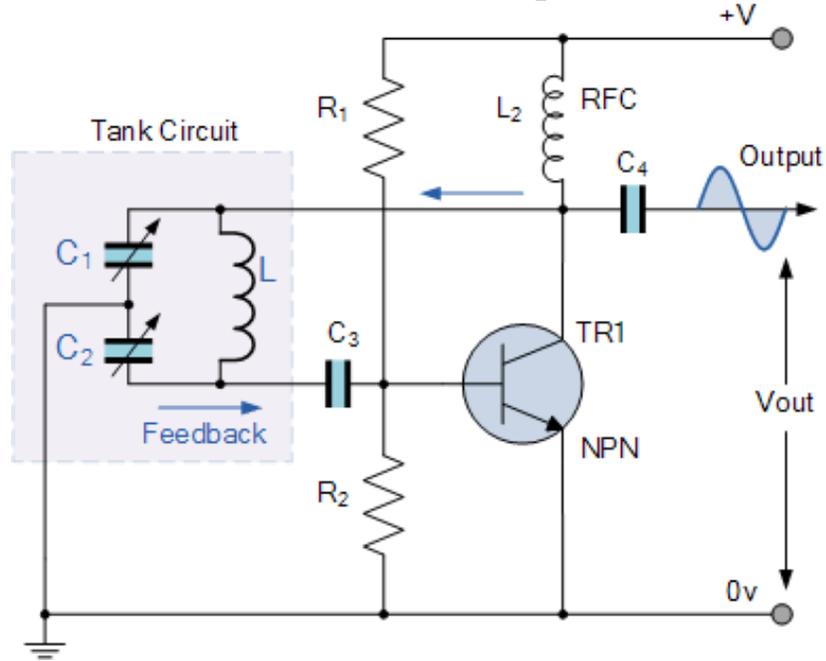
Un pletismografo a induttanza respiratoria è costituito da due bobine di filo sinusoidale isolate e collocate all'interno di due bande elastiche e adesive leggere e larghe 2,5 cm (circa 1 pollice).



La frequenza dell'uscita dell'oscillatore varia al variare dell'induttanza della bobina a causa delle variazioni della sezione trasversale dovute ai movimenti respiratori. In dettaglio, la corrente sinusoidale genera un campo magnetico e l'area trasversale cambia a causa dei movimenti respiratori del torace e dell'addome che determinano una variazione del flusso del campo magnetico attraverso le bobine. Questa variazione del flusso provoca una variazione dell'autoinduttanza di ciascuna bobina che modula l'uscita dell'oscillatore sinusoidale.

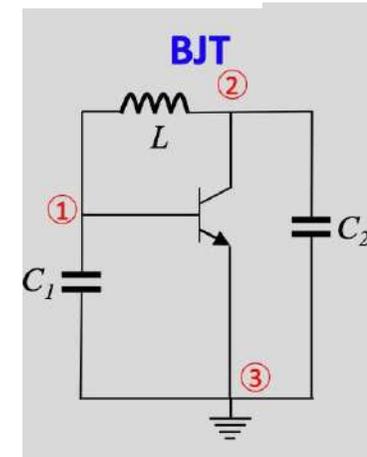
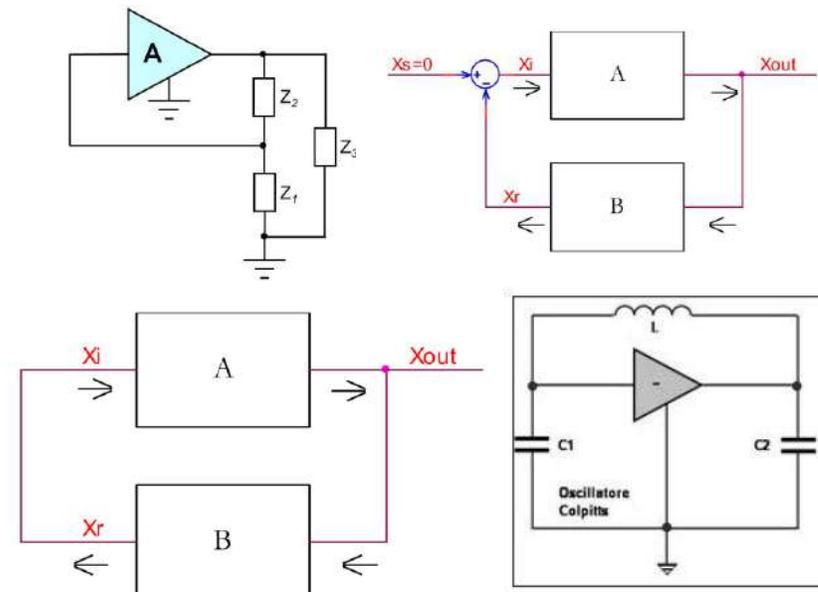
Il circuito di misurazione dell'induttanza comprende un oscillatore LC a frequenza variabile con le bobine come elemento induttivo, che misura la frequenza elettrica o l'ampiezza dell'oscillatore per determinare l'induttanza.

Oscillatore Colpitts



$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{or} \quad C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}}$$

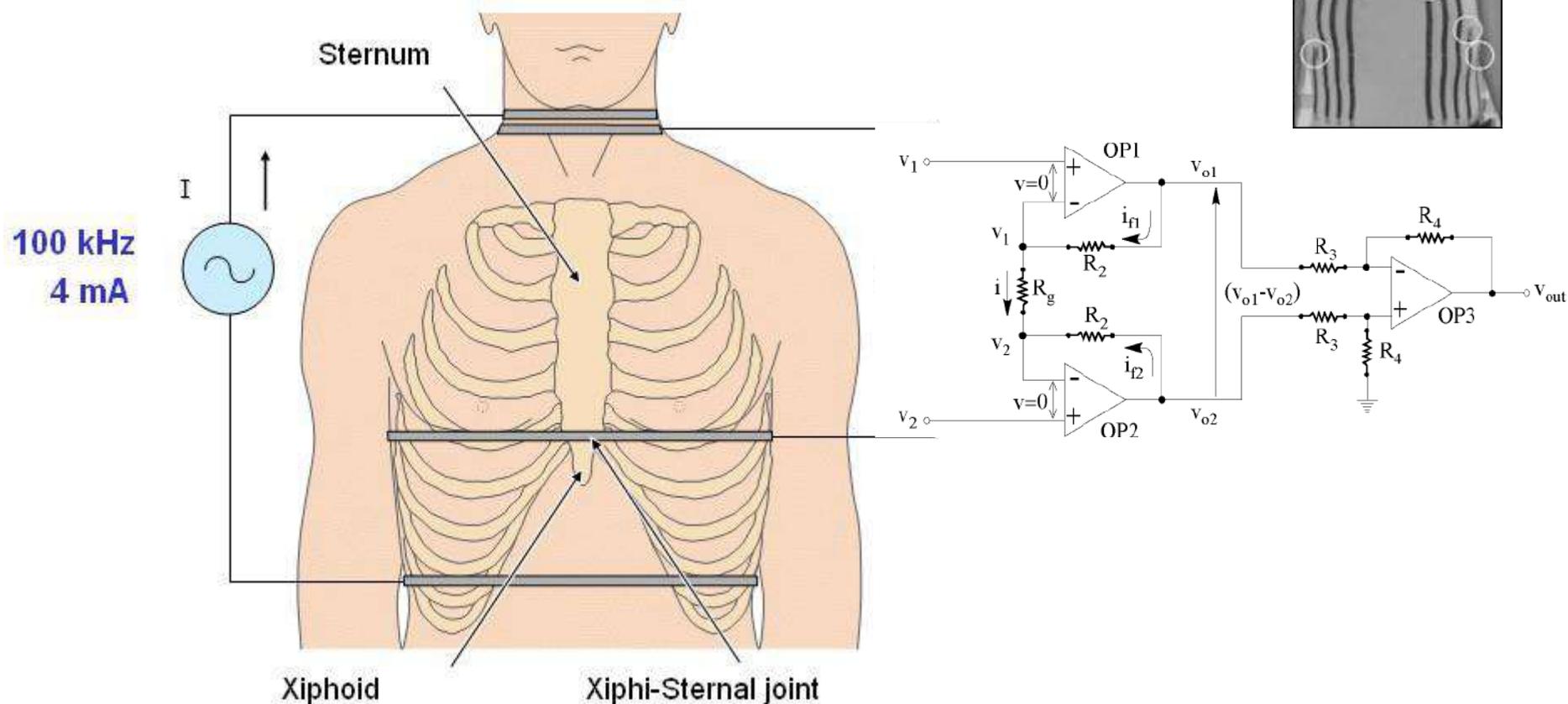


$$-\frac{1}{\omega C_1} - \frac{1}{\omega C_2} + \omega L = 0 \quad \text{con} \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

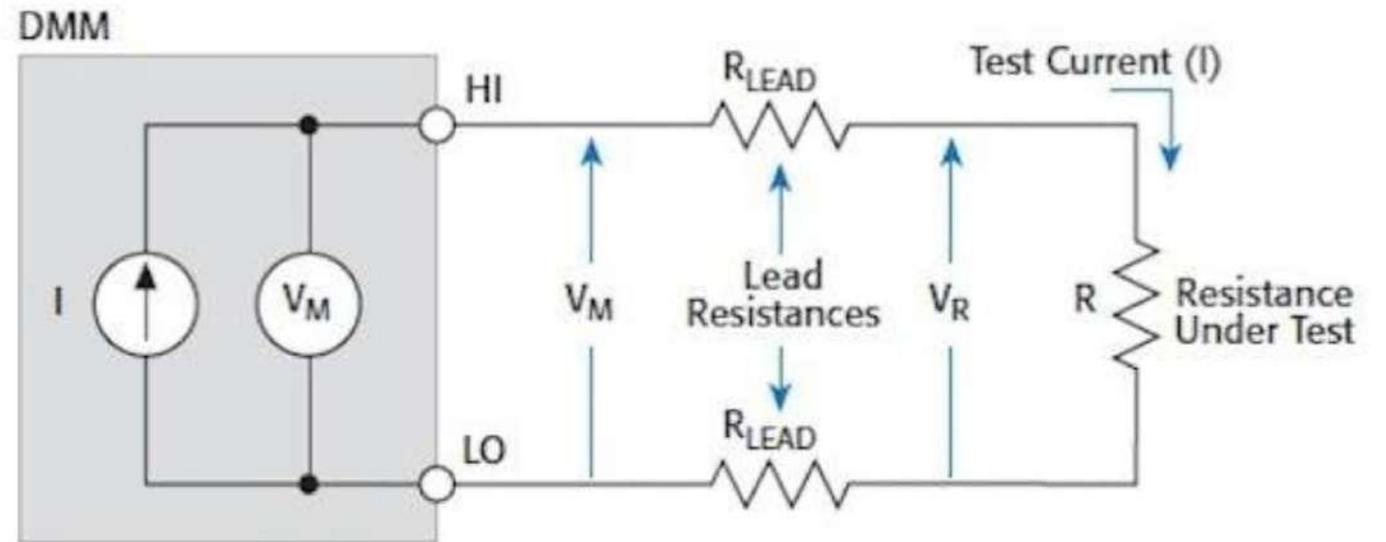
$$\omega \equiv \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Pletismografia a impedenza

Questa tecnica consiste nell'iniettare una corrente ad alta frequenza e bassa ampiezza attraverso una coppia di elettrodi posizionati sul torace e nel misurare le variazioni dell'impedenza elettrica transtoracica.



Misurazione della resistenza a 2 e 4 punte

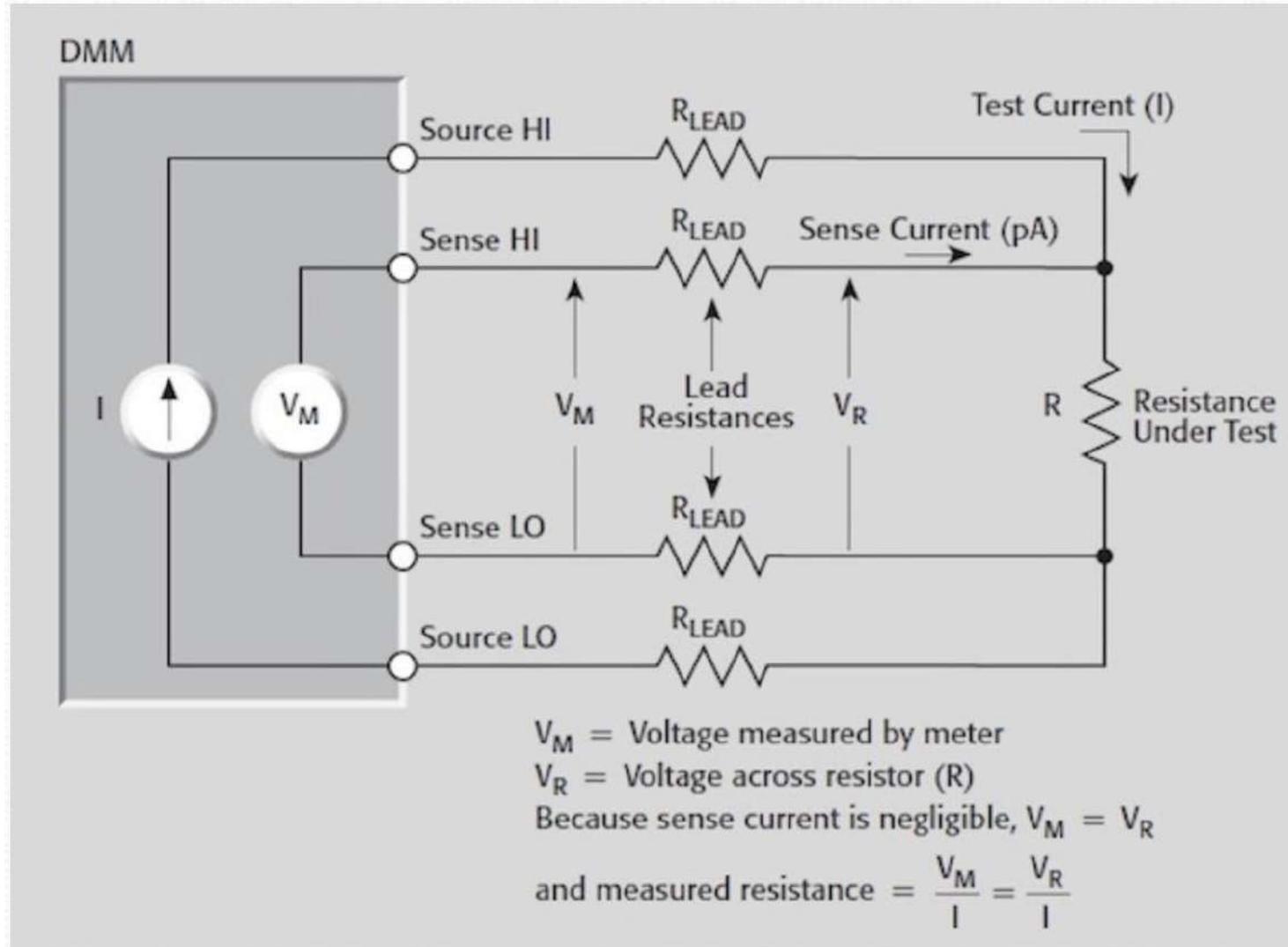


V_M = Voltage measured by meter

V_R = Voltage across resistor

$$\text{Measured Resistance} = \frac{V_M}{I} = R + (2 \times R_{\text{LEAD}})$$

Misurazione della resistenza a 2 e 4 punte



Pneumografia piezoresistiva

- Il sensore piezoresistivo cambia la sua resistenza elettrica se viene allungato o accorciato ed è sensibile alle variazioni della circonferenza toracica che si verificano durante la respirazione.

Strain gauge resistivo

Strain gauge is bonded to an object ,When subject to strain, its resistance R changes, the fractional change in resistance $\Delta R / R$ being proportional to the mechanical strain $\Delta L / L$.

Mechanical strain $\epsilon_L = \Delta l / l$

Strain Gauge

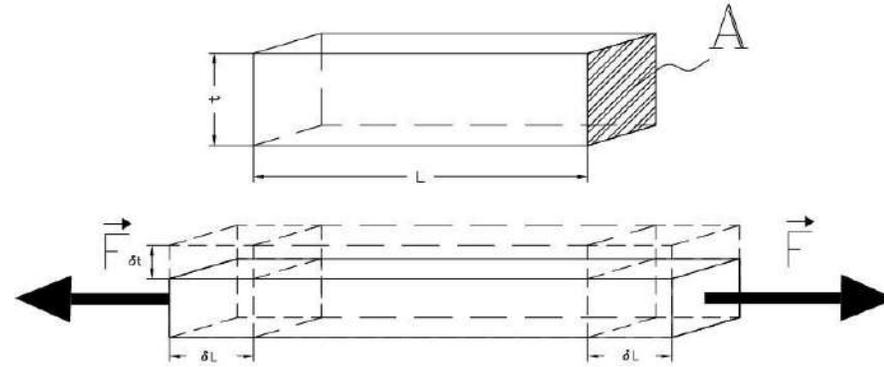

Electrical strain $\Delta R / R = G \cdot \Delta l / l$

Wheatstone Bridge


Electrical Output $E_o \propto \Delta R / R$

G is the gauge factor (Strain Factor)

Strain gauge



The resistance R of a conductor of cross section area A , length L , made of material of resistivity ρ is $R = \rho \frac{l}{A}$

Strain gauge

Gauge Factor is Defined as $G = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon_L}$

$$\Delta R = G R \epsilon_L$$

Where ΔR being change in resistance due to axial Strain ϵ_L

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta A}{A}$$

Area A is geometric dimension of strain gauge,
 $A = \frac{\pi}{4} D^2$; where D Diameter

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta L}{L} - 2 \frac{\Delta D}{D}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \epsilon_L - 2 \epsilon_T \quad \text{Where } \epsilon_L = \frac{\Delta L}{L}, \epsilon_T = \frac{\Delta D}{D} \quad \frac{\Delta A}{A} = 2 \frac{\Delta D}{D}$$

$$\frac{\Delta R}{R \epsilon_L} = \frac{\Delta \rho}{\rho \epsilon_L} + \frac{\epsilon_L}{\epsilon_L} - \frac{2 \epsilon_T}{\epsilon_L} = \frac{\Delta \rho}{\rho \epsilon_L} + 1 + 2\nu$$

$$\text{Where } \nu = - \frac{\epsilon_T}{\epsilon_L}$$

$$G = \frac{\Delta \rho}{\rho \epsilon_L} + 1 + 2\nu \approx 1 + 2\nu$$

Strain gauge: sensibilità

- La misurazione della deformazione coinvolge una quantità molto piccola (pochi $m\varepsilon$) Pertanto, per misurare la deformazione, è necessario misurare con precisione una variazione molto piccola della resistenza.
- Esempio:
 - Per una deformazione di $500 m\varepsilon$, con Gauge factor= 2, lo strain gauge ha $R=120 \Omega$
 - Poi $\Delta R = R \cdot G \cdot \varepsilon_L$
 - $= 120 \times 2 \times 500 m\varepsilon$
 - $\Delta R = 0.12 \Omega$ (è una variazione di resistenza molto piccola)
- Per misurare una variazione di resistenza così piccola, è necessario un circuito a ponte per convertire questa variazione di resistenza in una variazione di tensione.

Ponte di Wheatstone

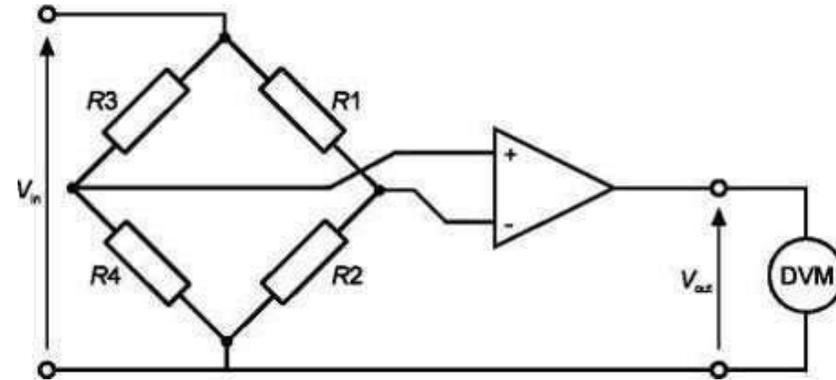
OPAMP is used to increase the linearity by reducing the loading effect on the wheatstone Bridge.

$$V_{out} = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in}$$

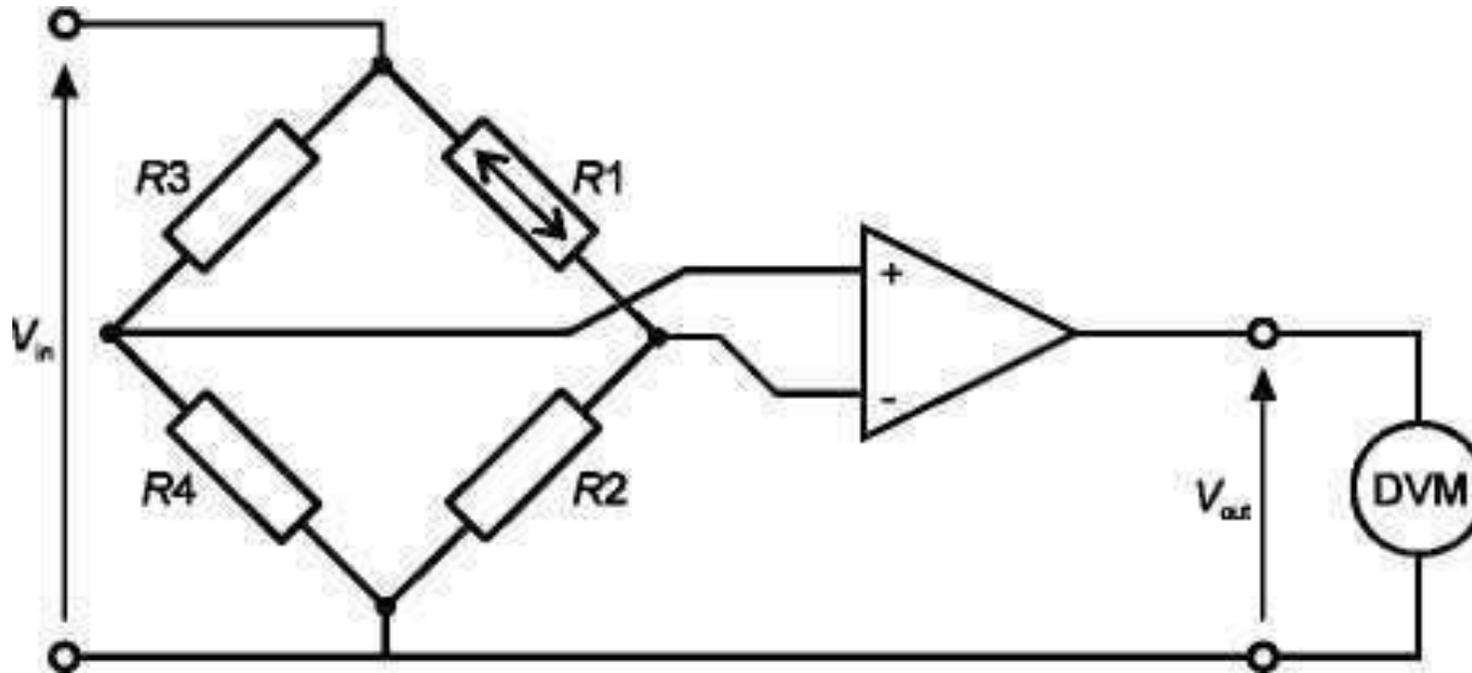
For Balanced Bridge

$$i. e. R_1 = R_2 = R_3 = R_4$$

$$V_{out} = 0$$



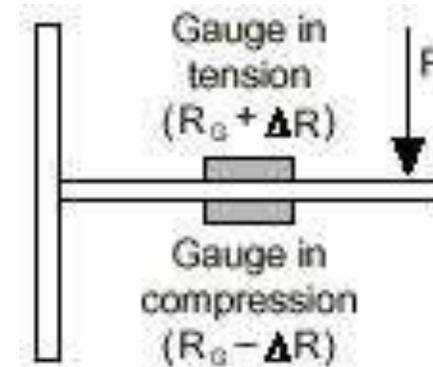
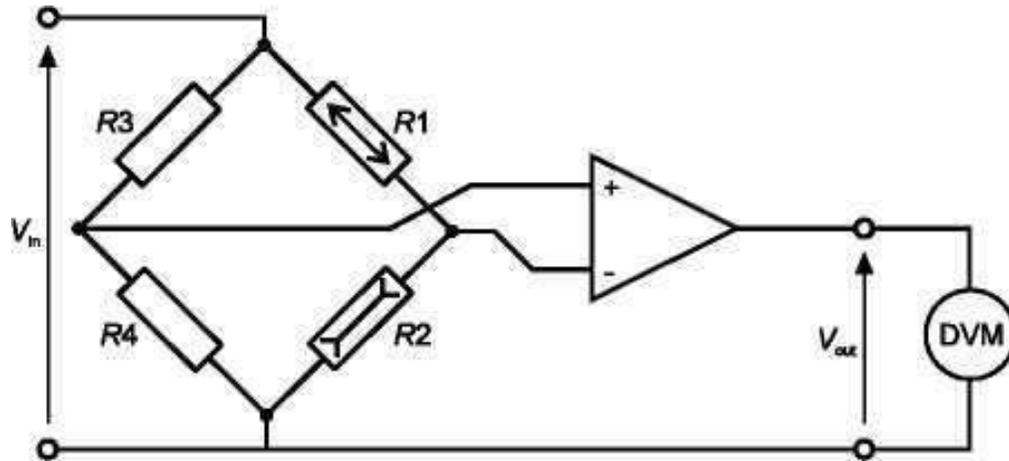
Quarto di ponte



For $R_1 = R + \Delta R$ (Tensile)
 $R_2 = R_3 = R_4 = R$

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

Mezzo ponte



La disposizione diventa più sensibile grazie ai due strain gauge attivi

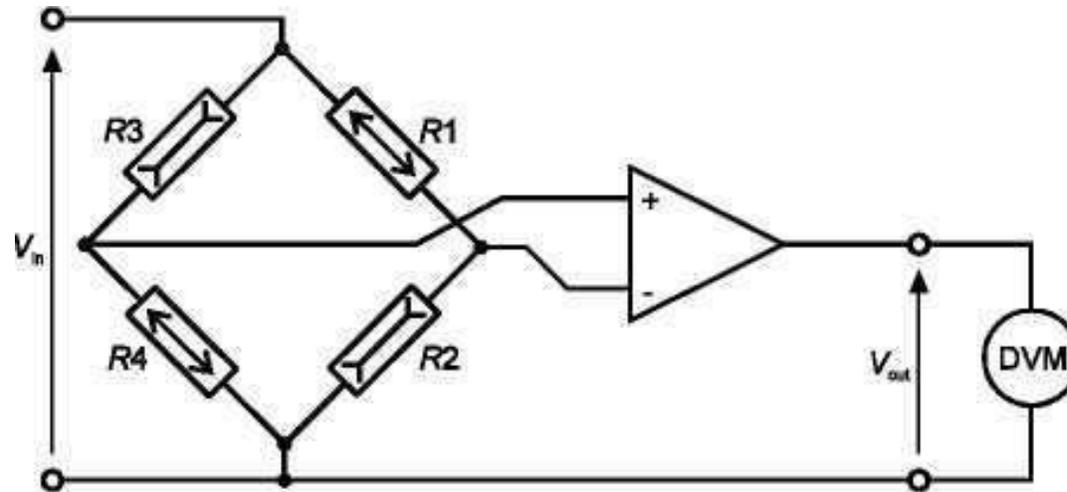
Gli effetti della temperatura sono annullati

$$\begin{aligned} \text{For } R_1 &= R + \Delta R \text{ (Tensile)} \\ R_2 &= R - \Delta R \text{ (Compressive)} \end{aligned}$$

$$R_3 = R_4 = R$$

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

Ponte completo

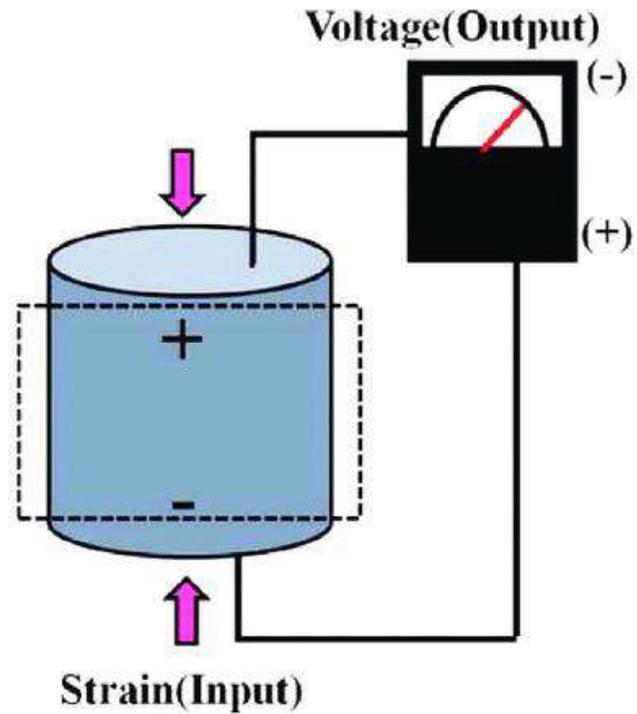


- Questa disposizione viene utilizzata per ottenere la massima sensibilità combinata con la compensazione completa della temperatura.

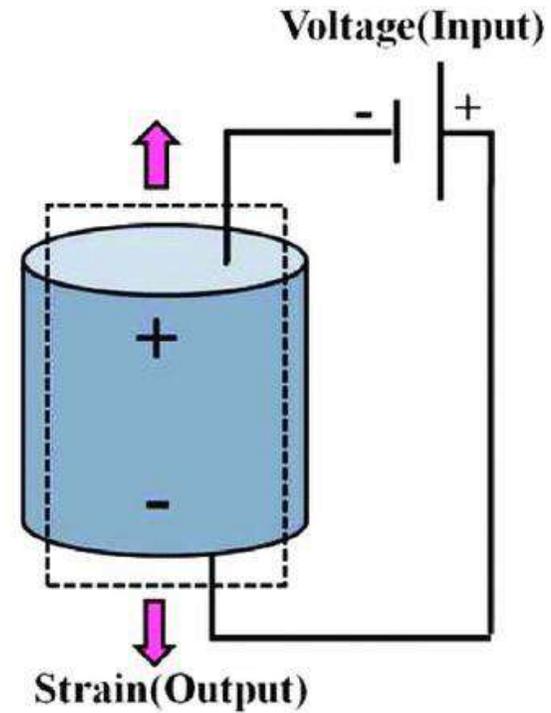
*For $R_1 = R_4 = R + \Delta R$ (Tensile)
 $R_2 = R_3 = R - \Delta R$ (Compressive)*

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

Effetto piezoelettrico

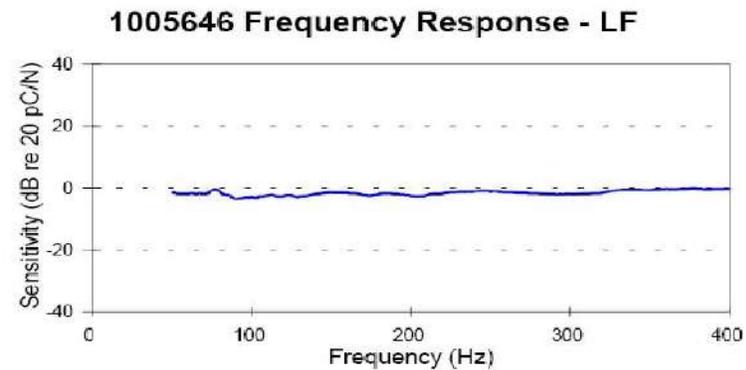
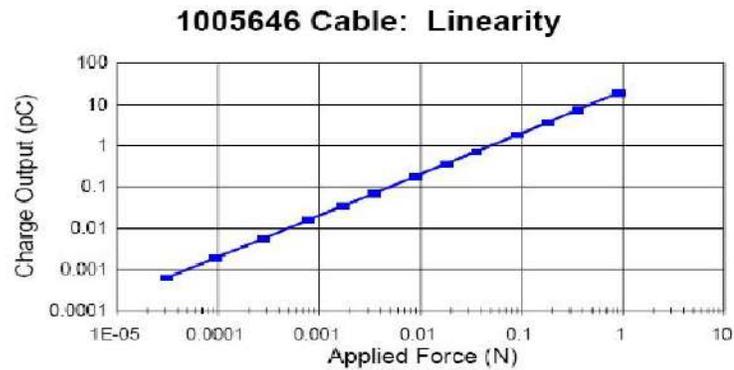
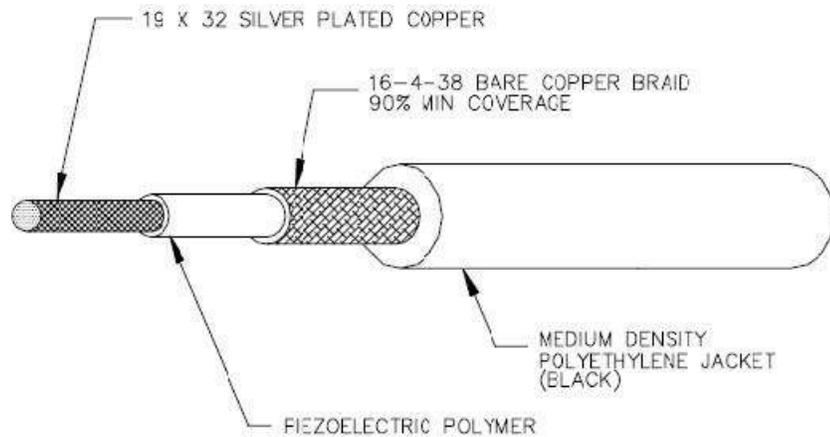


Direct Piezoelectric Effect



Converse Piezoelectric Effect

Cavo piezoelettrico



Flusso d'aria nasale termico

→ Sensori di temperatura:

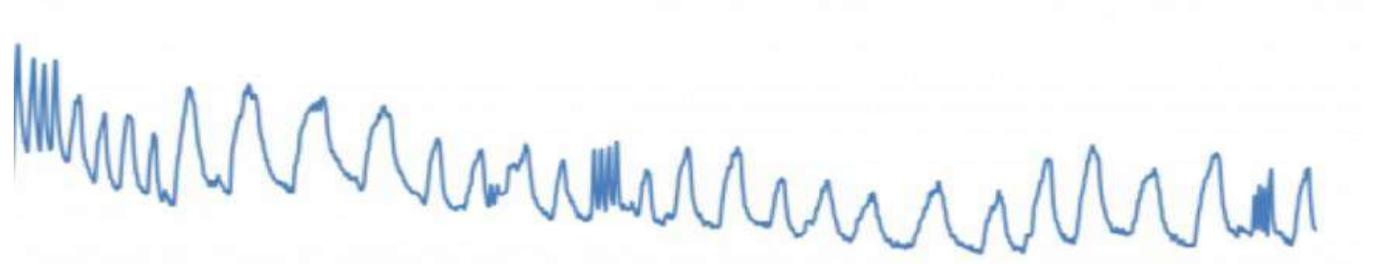
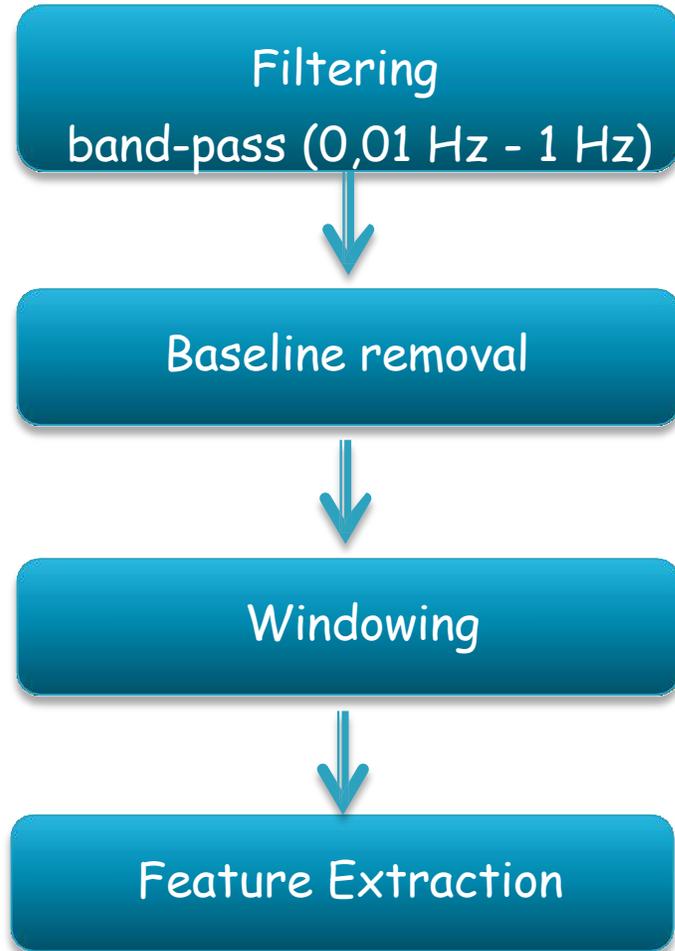
→ - Termoresistenza

→ - Termistore

→ - Termocoppia



Analisi di un segnale respiratorio



Analisi di un segnale respiratorio

