

DIPARTIMENTO di BIOINGEGNERIA
LABORATORIO DI TECNOLOGIE BIOMEDICHE (TBMLab)


TBM
lab

POLITECNICO DI MILANO

 **Analisi del movimento in respirazione:
LA PLETISMOGRAFIA OPTOELETTRONICA (OEP)**

Bosisio Parini, 8 ottobre 2008

Andrea Aliverti

 **Sommarario** 2

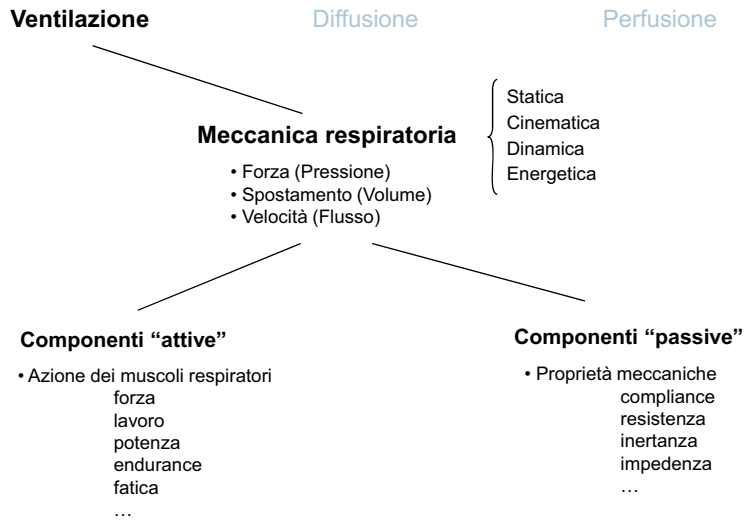
1. Perché e come è nata la pletismografia opto-elettronica (OEP) ?
2. Cosa è la OEP? Come funziona? Cosa misura ?
3. Quali risultati si sono ottenuti fino ad oggi ?
4. Quali sono le ricerche in corso ?

A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica POLITECNICO DI MILANO



Valutazione della funzione respiratoria

3



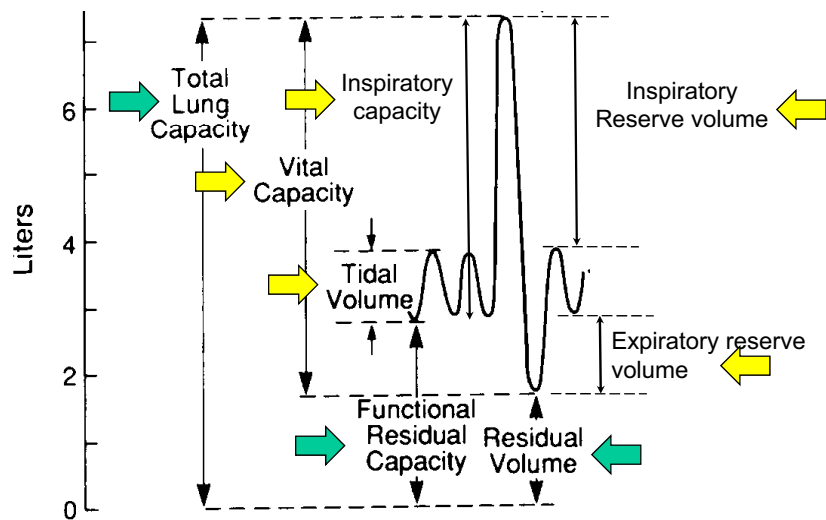
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Volumi polmonari: relativi e assoluti

4



A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Misure di volume polmonare

5

- misure **relative** (variazioni volume di gas alveolare)
 - spirometria
 - integrazione di misure di flusso

- misure **assolute** (volumi di gas alveolare)
 - metodi di lavaggio (es. N₂)
 - metodi di diluizione (es. He)
 - pletismografia corporea



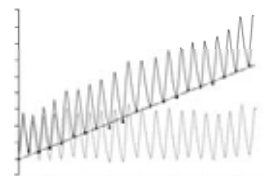
Misura del volume con metodi tradizionali (flussimetri o spirometri): limiti

6

- misura molto difficoltosa, se non impossibile, su pazienti non collaboranti, su bambini, durante il sonno, la ventilazione meccanica non invasiva, la fonazione
- il boccaglio non può essere utilizzato per lunghi periodi di tempo, e durante particolari condizioni
- limita la mobilità del soggetto
- introduce un volume addizionale ("spazio morto") che può alterare il pattern ventilatorio

- sono necessarie continue calibrazioni
- integrazione nel tempo del flusso: affetta da **deriva**
- non è possibile la misura delle variazioni di volume di fine espirazione

- non consente di ottenere informazioni di tipo compartimentale

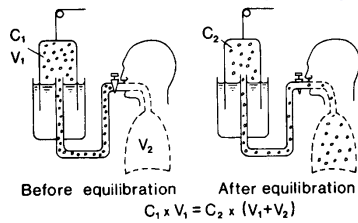




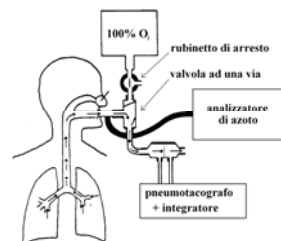
Misure di volume assoluto

7

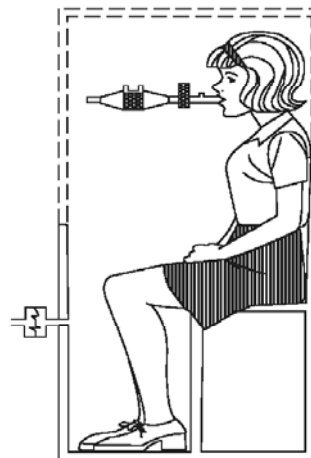
Metodi di diluizione (es. He)



Metodi di lavaggio (es. N₂)



Pletismografia corporea



A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Una possibilità: misurare il movimento della parete toracica

8

“Chest wall = all parts of the body outside the lung which share changes in the volume of the lungs”

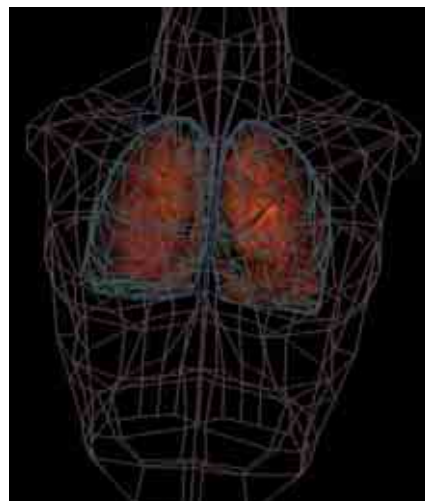
(Konno and Mead, *J Appl Physiol*, 22:407-422, 1967)

Durante la respirazione, la chest wall varia non solo il suo volume, ma anche la sua **forma**

⇒ Le misure devono essere effettuate in numerosi punti della parete toraco-addominale

Dove ?

Quanti “gradi di libertà” ha la parete toraco-addominale durante i movimenti respiratori?



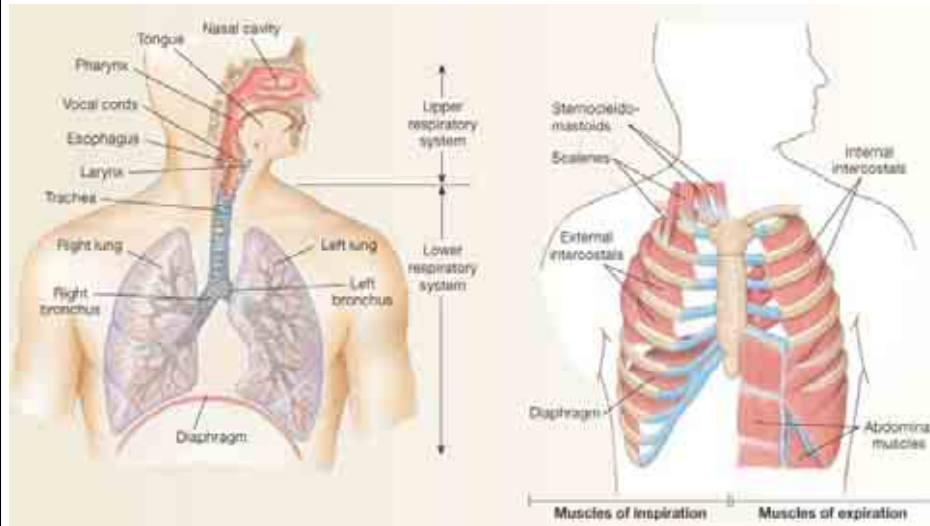
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



La parete toraco-addominale (chest wall)

9



A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Pletismografia ad induttanza variabile (RIP)

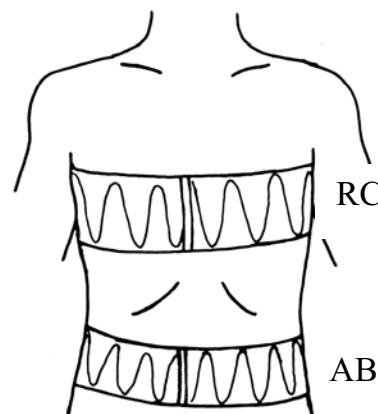
10

IPOTESI

- 2 gradi di libertà (RC e AB)
- le configurazioni di RC e AB sono descritte da una sola coordinata (sezione trasversale)

PROBLEMI

- ristretto range di validità dei parametri di calibrazione (dipendenti dalla postura e dal volume)
- spesso la calibrazione è difficile da ottenere a causa della scarsa collaborazione del soggetto



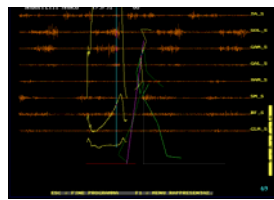
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Metodi opto-elettronici per l'analisi del movimento

11



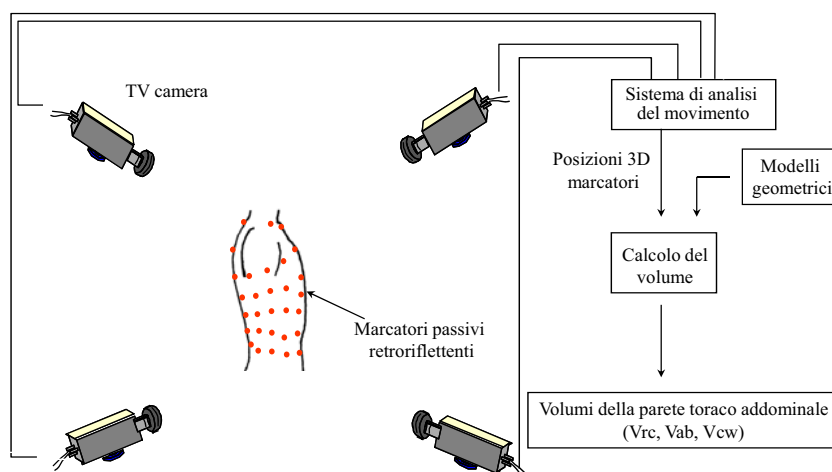
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Pletismografia optoelettronica (OEP): principio di funzionamento

12



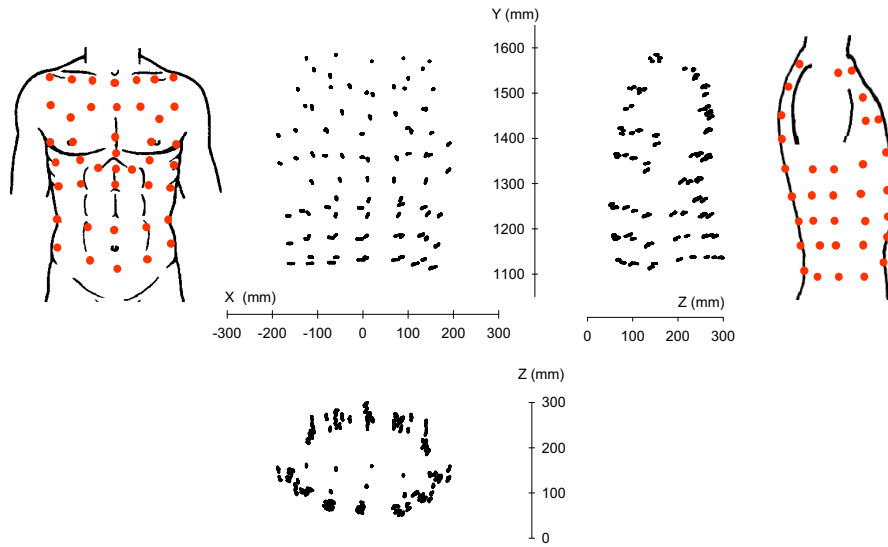
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Movimenti respiratori

13



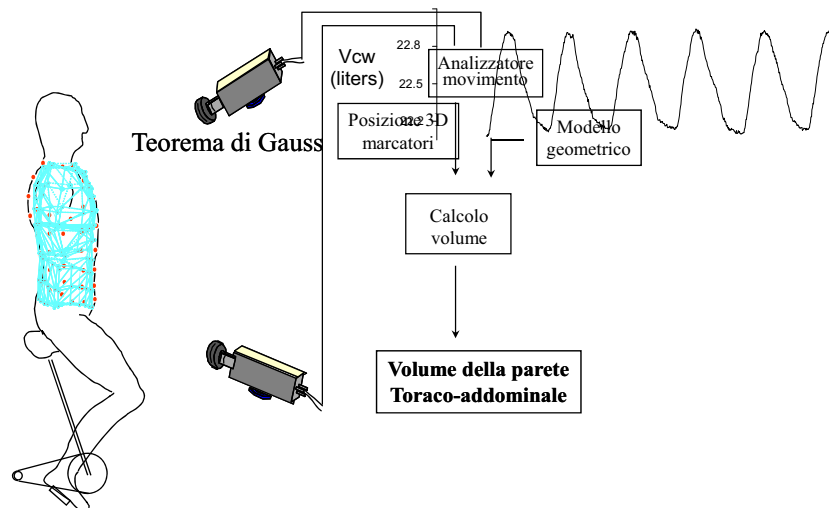
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



OEP: dai movimenti respiratori al calcolo del volume

14



Cala et al, J Appl Physiol, 1996
Aliverti et al, Am J Resp Crit Care Med, 2001

A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Cosa misura la OEP?

15

- Variazioni di volume totale della parete toraco-addominale (stima delle variazioni di volume polmonare)
- Parametri ventilatori "breath-by-breath" (volume corrente, frequenza, ventilazione, tempo in/espilatorio, duty cycle, flusso medio in/espilatorio, ecc.)
- Volumi di fine inspirazione e di fine espirazione
- Volume dei diversi compartimenti (gabbia toracica polmonare o alta, gabbia toracica addominale o bassa, addome, compartimenti destro e sinistro)
- Asincronie toraco-addominali
- Distorsione della gabbia toracica
- Pressione, lavoro e potenza sviluppati dai muscoli respiratori (quando combinata con misure di pressione gastrica ed esofagea)
- Spostamenti di sangue dal tronco alla periferia (quando combinata con misure di pressione esofagea e flusso)

A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

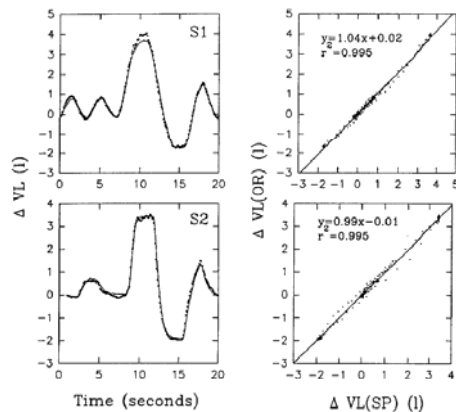
POLITECNICO DI MILANO



Cosa misura la OEP?

16

1. Variazioni di volume polmonare



Validazione in **posizione eretta / seduta** mediante confronto tra ΔV_{cw} (variazioni di volume stimate dalla OEP) e ΔV_L (variazioni di volume misurate da uno spirometro a campana)

(Cala et al *J Appl Physiol* 81(6): 2680-2689, 1996)

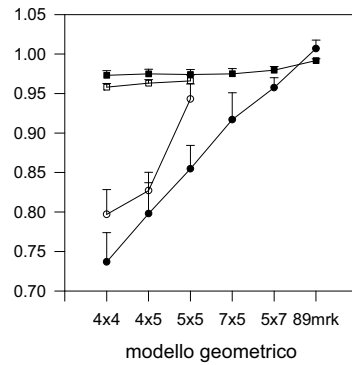
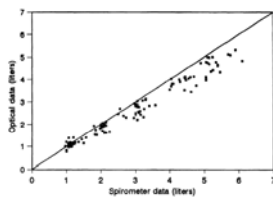
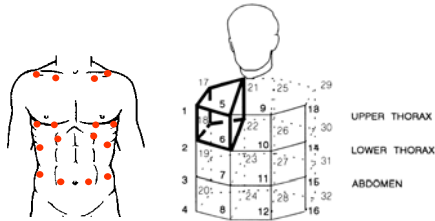
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Accuratezza e complessità del modello geometrico (n° marcatori)

17



Ferrigno G, Carnevali P, Aliverti A, Molteni F, Beulke G and Pedotti A.
Three-dimensional Optical Analysis of Chest Wall Motion.
J Appl Physiol 77(3): 1224-1231, 1994

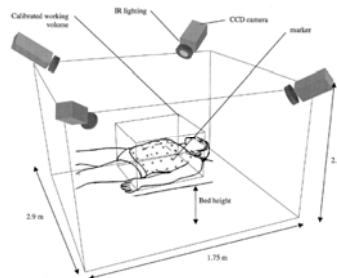
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



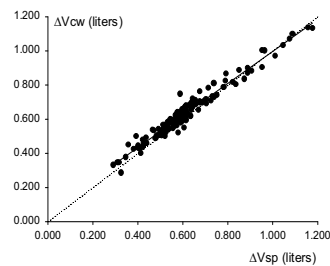
Cosa misura la OEP? 1. Variazioni di volume polmonare

18



Validazione in **posizione supina / prona** mediante confronto tra ΔV_{cw} (variazioni di volume stimate dalla OEP) e ΔV_L (variazioni di volume misurate da uno spirometro a campana)

Aliverti et al, *Am J Resp Crit Care Med*, 2000
Aliverti et al, *Ann Biomed Eng*, 2001



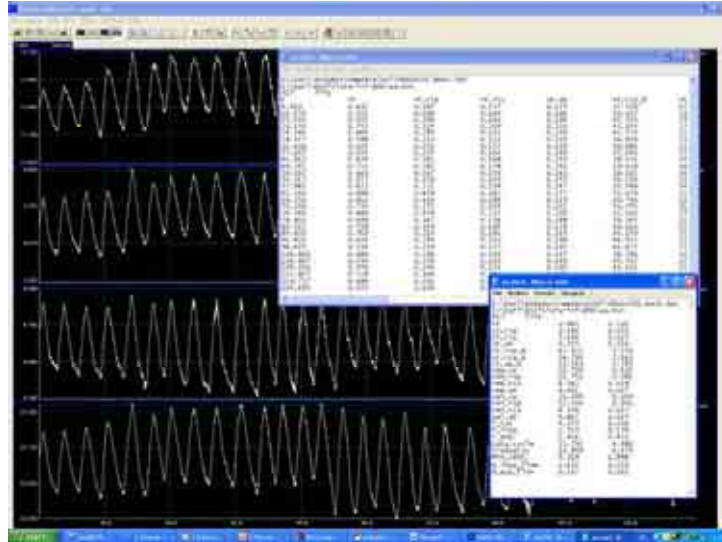
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Cosa misura la OEP? 2. Parametri ventilatori

19



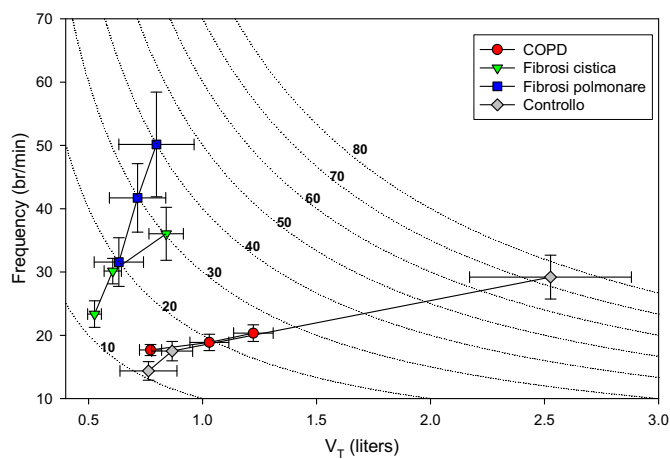
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Pattern ventilatorio in diverse patologie (1)

20



$$\text{Ventilazione} = V_T \cdot \text{freq}$$

A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

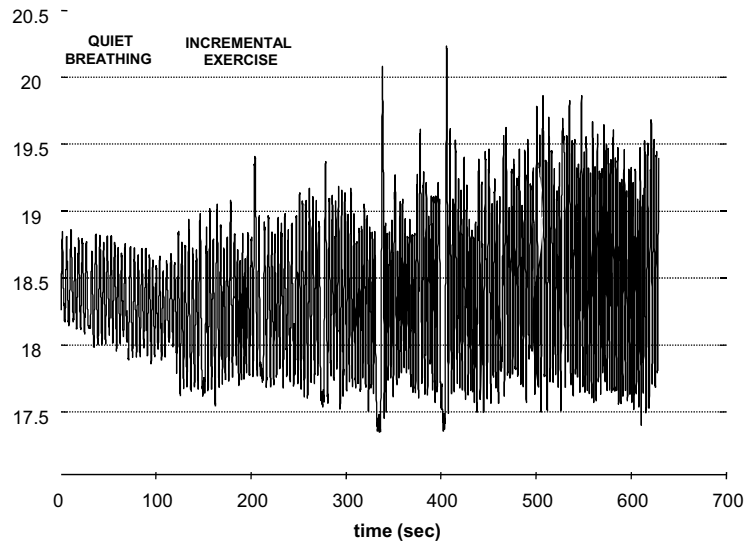
POLITECNICO DI MILANO



Cosa misura la OEP?

21

3. Volumi di fine inspirazione e di fine espirazione



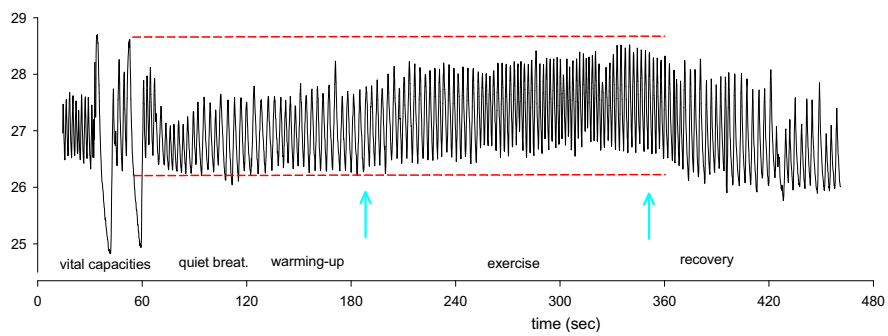
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Iperinsufflazione dinamica nei COPD: misura respiro per respiro

22



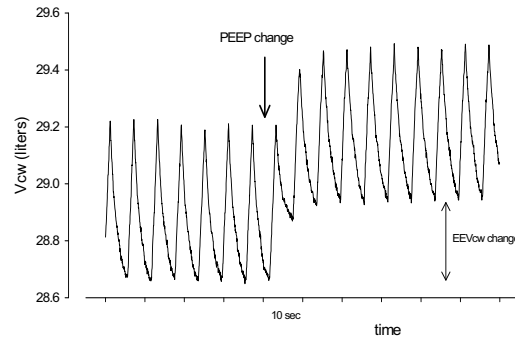
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Monitoraggio durante ventilazione meccanica (effetto della PEEP)

23



Aliverti A, et al. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 161: 1546-1552, 2000
Aliverti A, et al. *Ann Biomed Eng* 29:60-70, 2001
Dellaca et al, *Crit Care Med.* 29(9):1807-1811, 2001

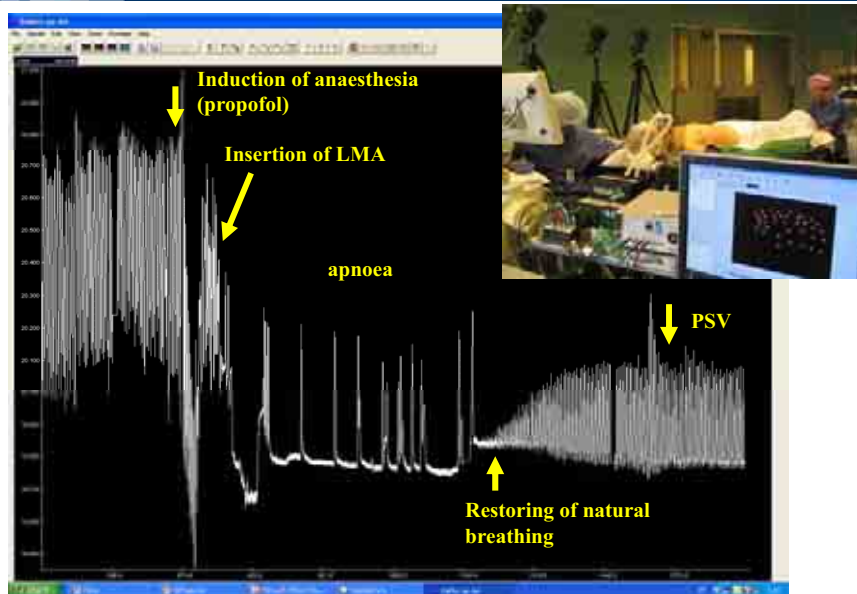
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Monitoraggio durante anestesia

24



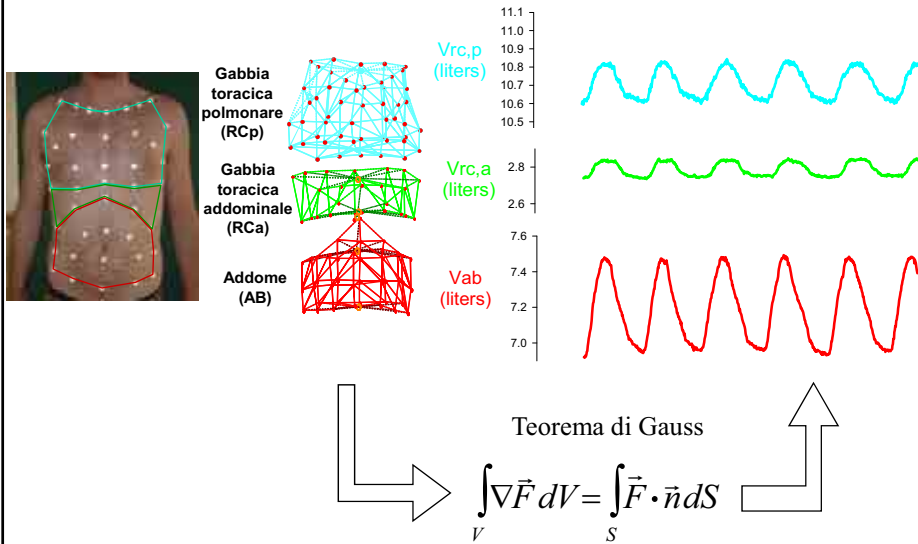
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Cosa misura la OEP? 4. Volumi compartimentali

25



A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



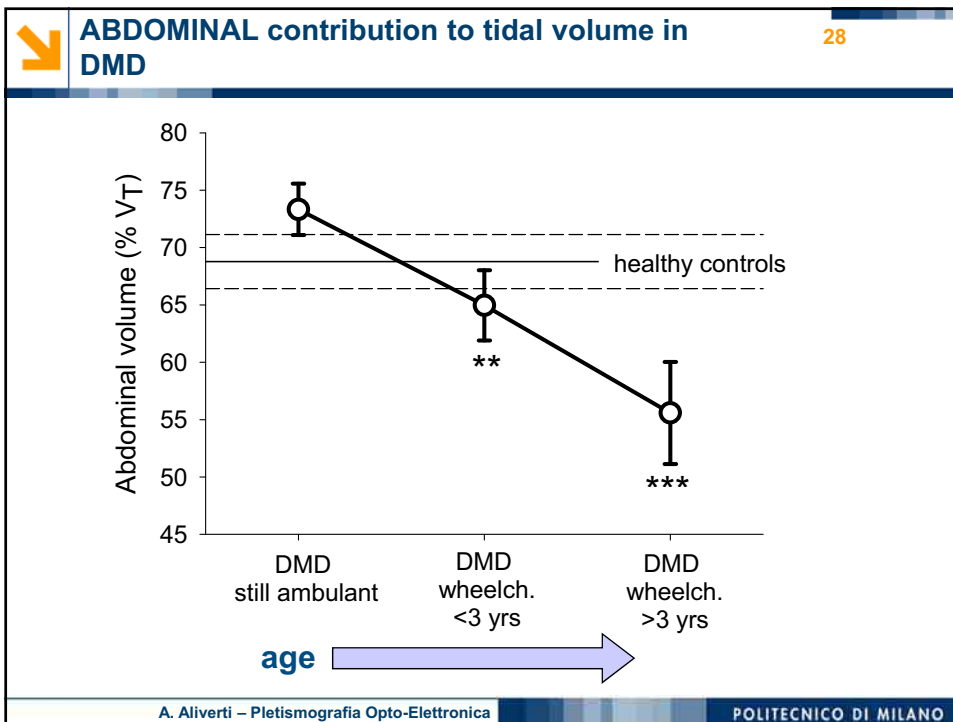
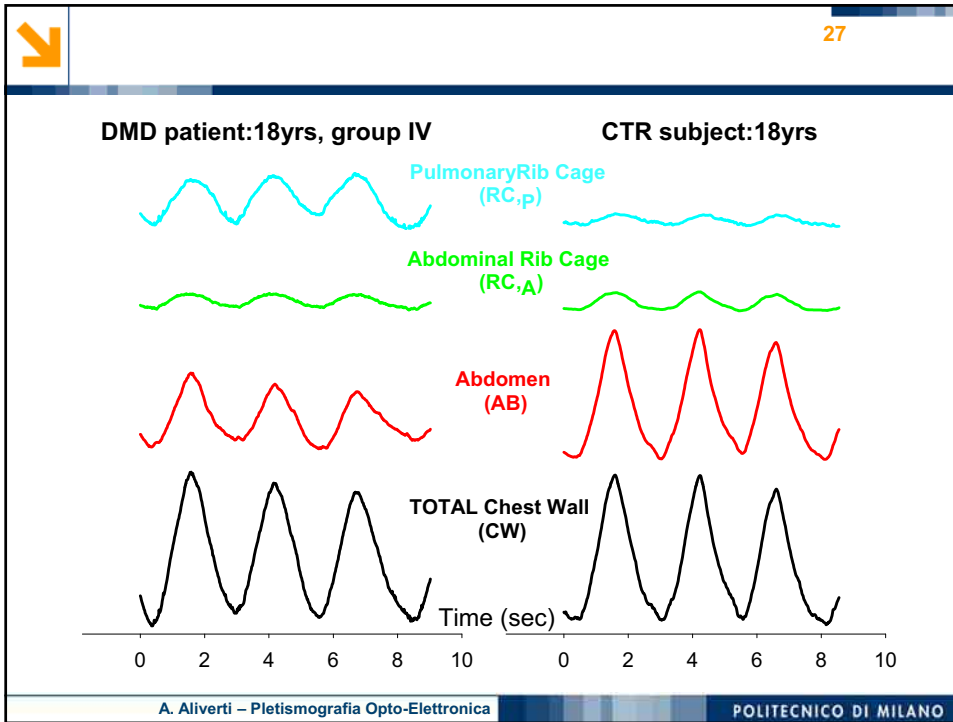
OEP in DMD: seated and supine analysis of breathing

26



A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

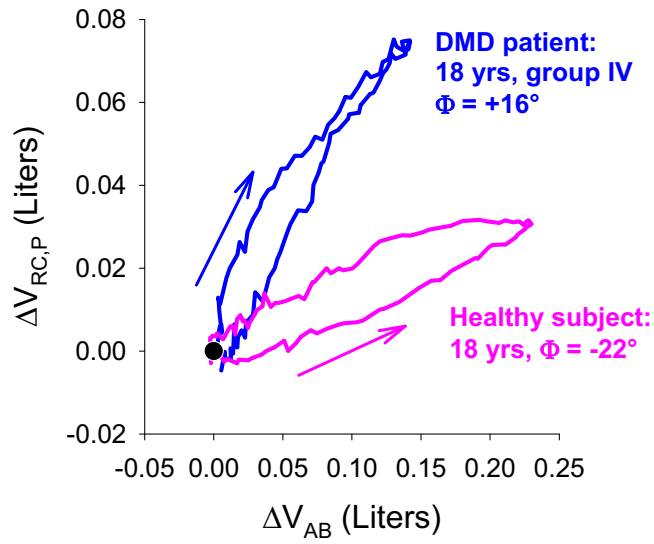
POLITECNICO DI MILANO





Relative rib cage / abdominal motion during tidal breathing

29



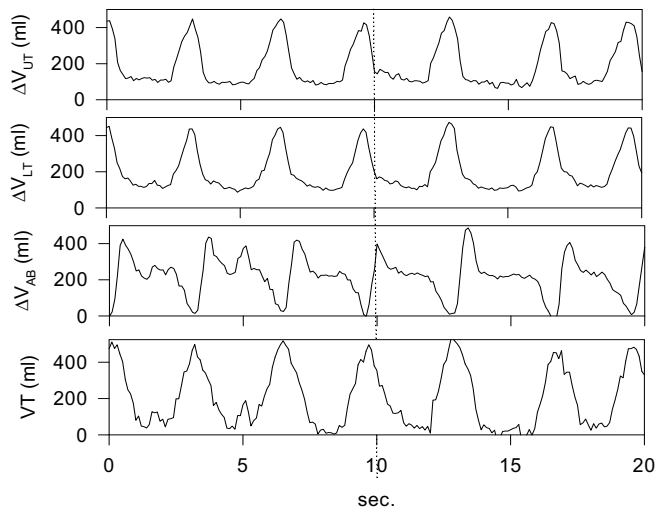
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



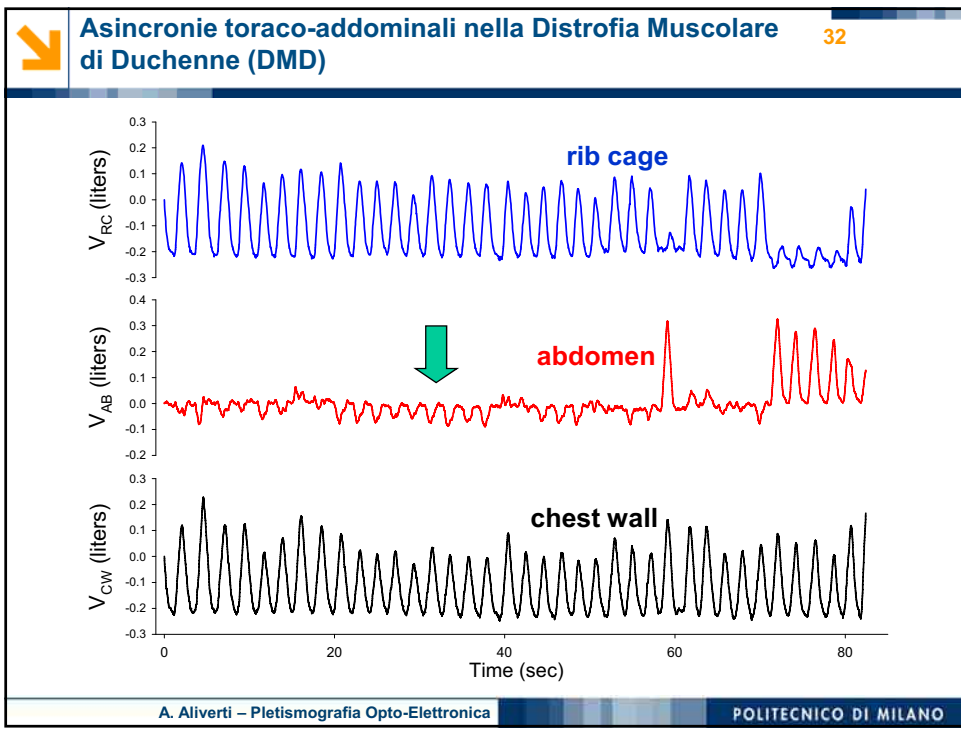
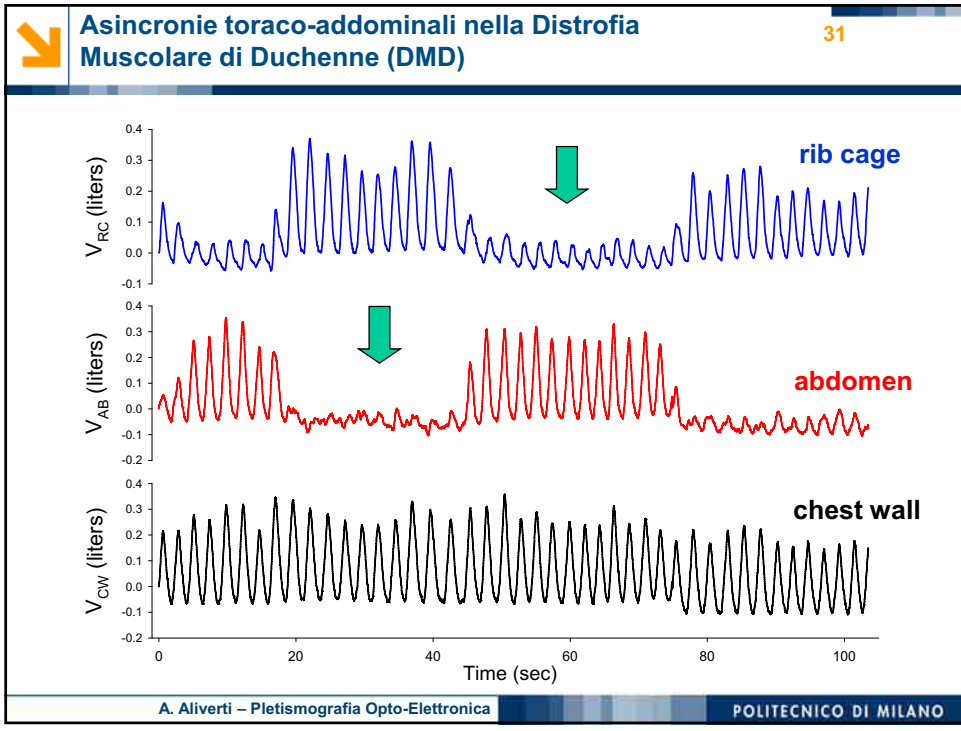
Cosa misura la OEP? 5. Asincronie toraco-addominali (es: Distrofia Muscolare)

30



A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

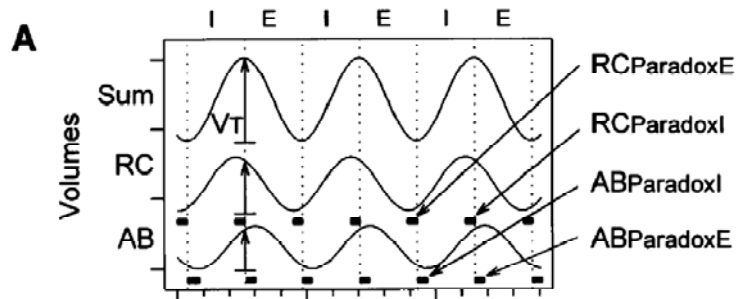
POLITECNICO DI MILANO





Compartmental inspiratory and expiratory paradoxical times

33



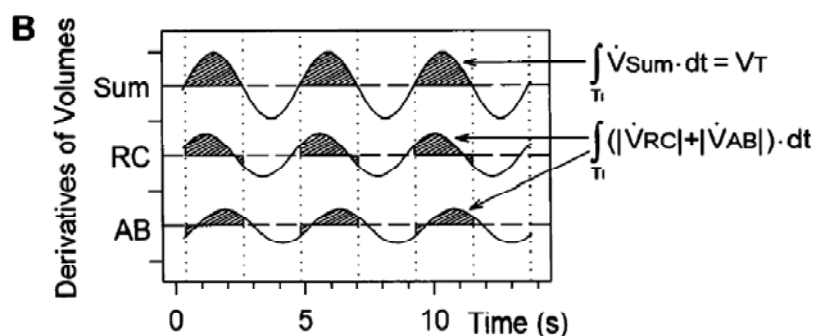
Bloch KE, et al. Am J Respir Crit Care Med 1997;156:553-560.

Fraction of inspiratory (expiratory) time during which the rib cage and the abdomen move in opposite direction to the sum signal



LBI (Labored Breathing Index)

34

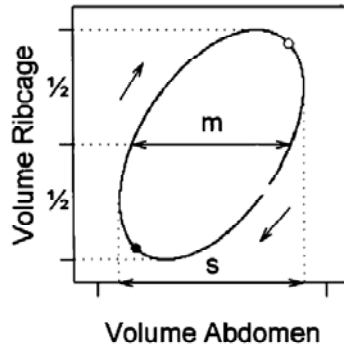


Bloch KE, et al. Am J Respir Crit Care Med 1997;156:553-560.

Sum of the integrals of the absolute values of derivatives of rib cage and abdominal volume curves from beginning to end of inspiration divided by the integral of the derivative of the inspiratory limb of the sum (volume) signal



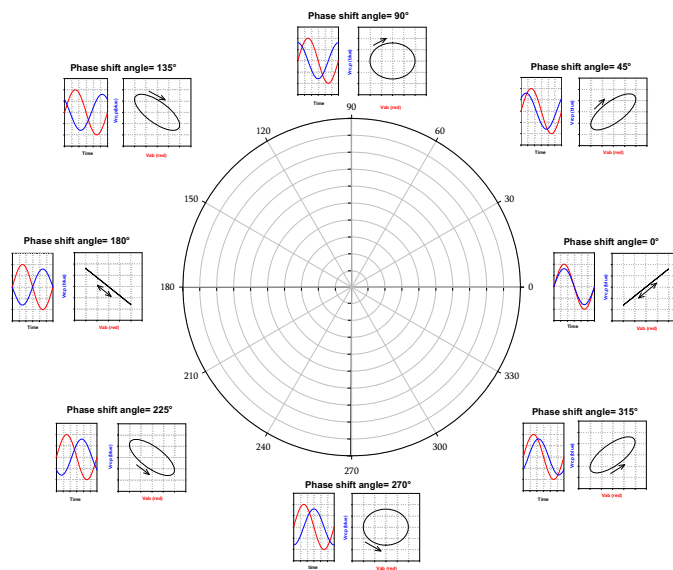
C



$$\text{sine(PhAng)} = m/s$$

Bloch KE, et al. Am J Respir Crit Care Med 1997;156:553-560.

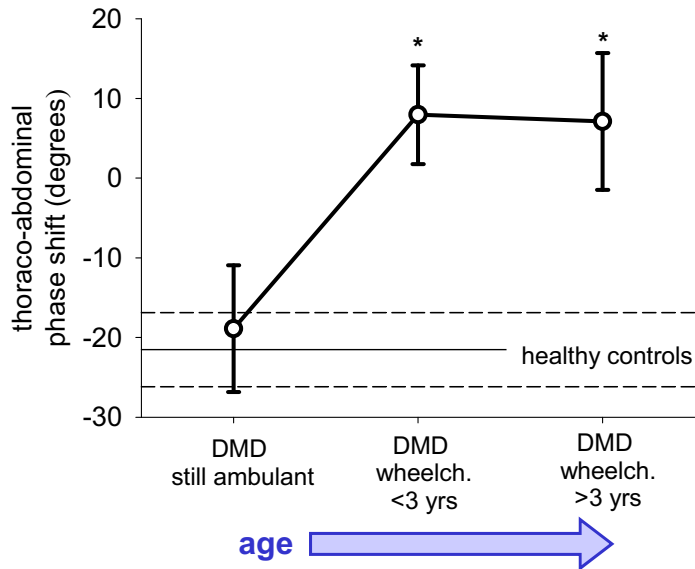
Phase shift between thoracic and abdominal waveforms.





Thoraco-abdominal phase shift during tidal breathing

37



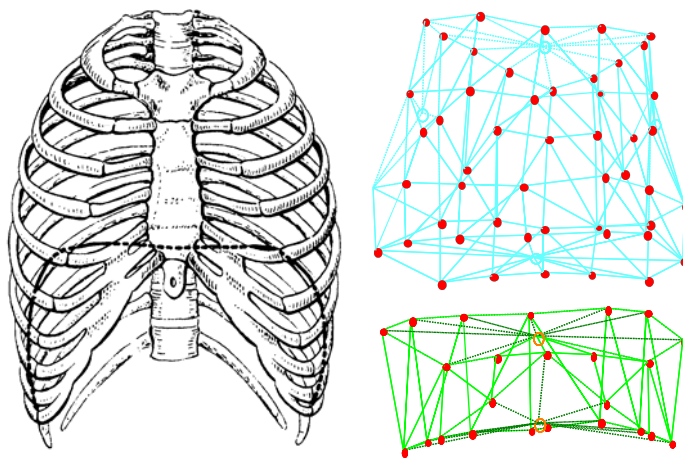
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Cosa misura la OEP? 6. Distorsione della gabbia toracica

38



Kenyon CM et al, J Appl Physiol, 1997

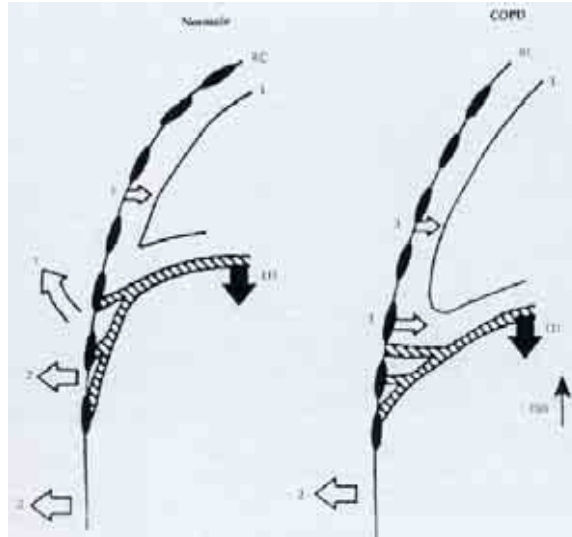
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Distorsione della gabbia toracica nei COPD: segno di Hoover

39



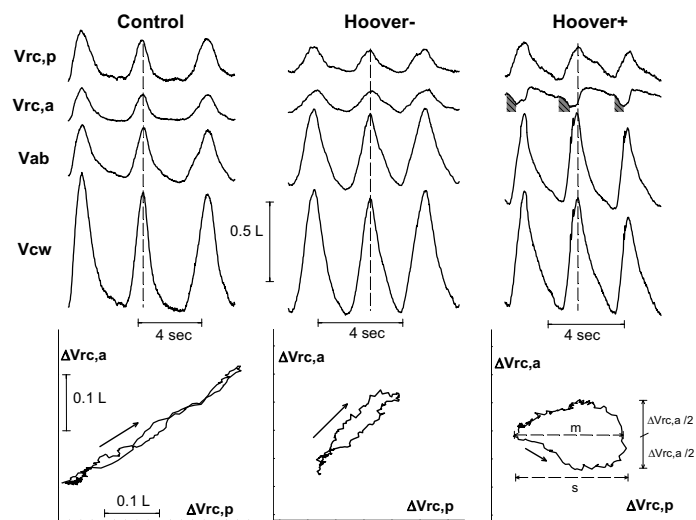
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Distorsione della gabbia toracica nei COPD: segno di Hoover

40



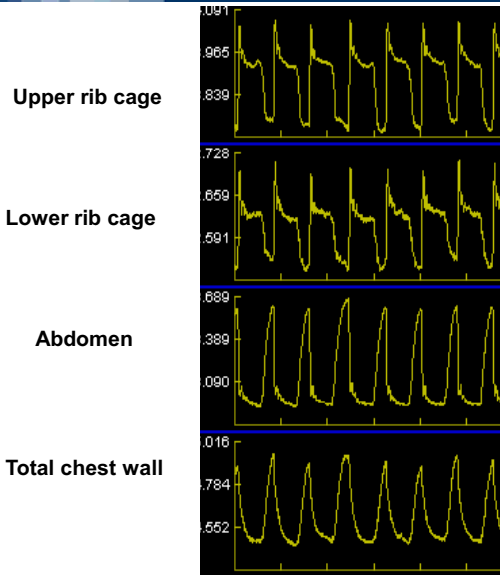
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Stimolazione Elettrica del nervo frenico

41



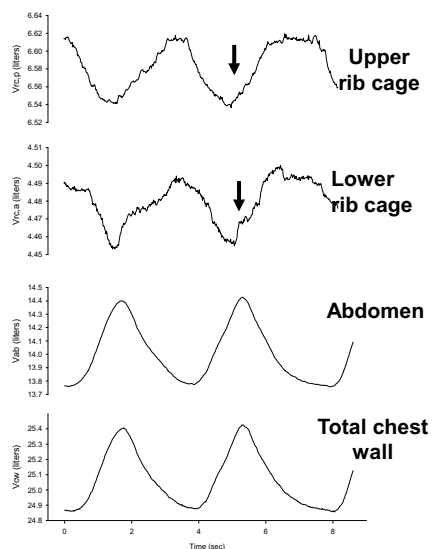
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Asincronie toraco-addominali nell'osteogenesi imperfetta (OI)

42



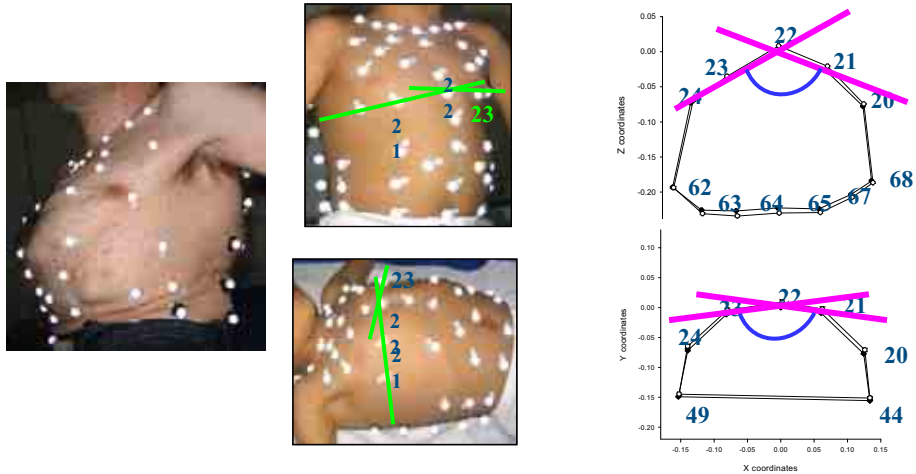
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Descrizione quantitativa della geometria della gabbia toracica: "petto carenato"

43



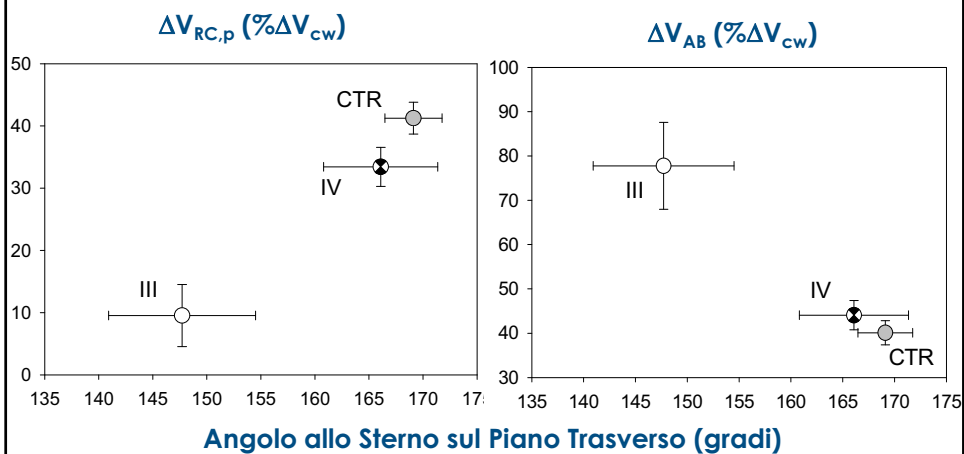
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Relazione tra geometria della gabbia toracica e cinematica respiratoria nella OI

44



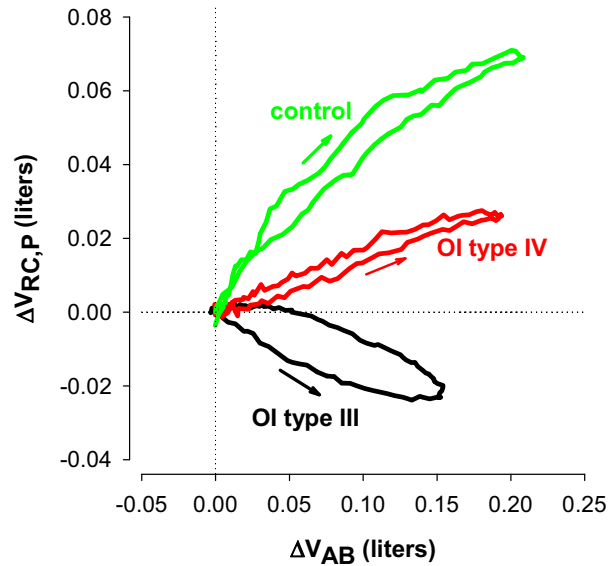
A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Thoraco-abdominal asynchronies in osteogenesis imperfecta (OI)

45



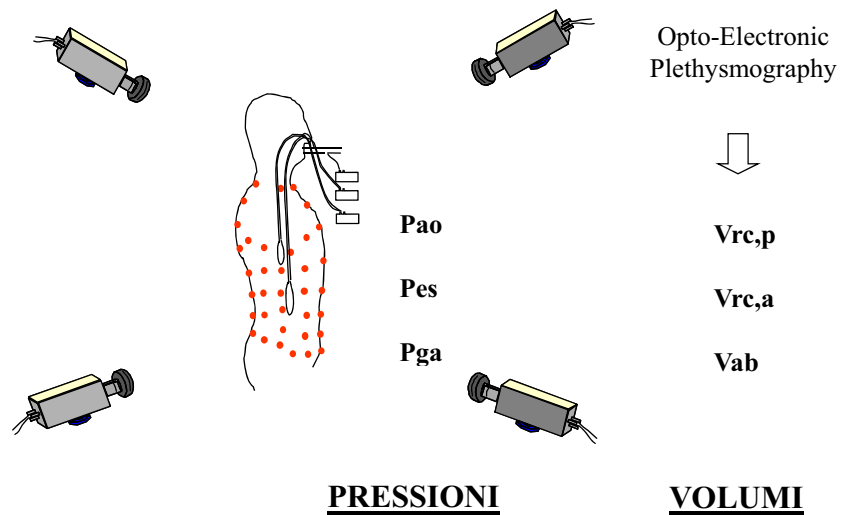
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Cosa misura la OEP? 7. Dinamica dei muscoli respiratori

46



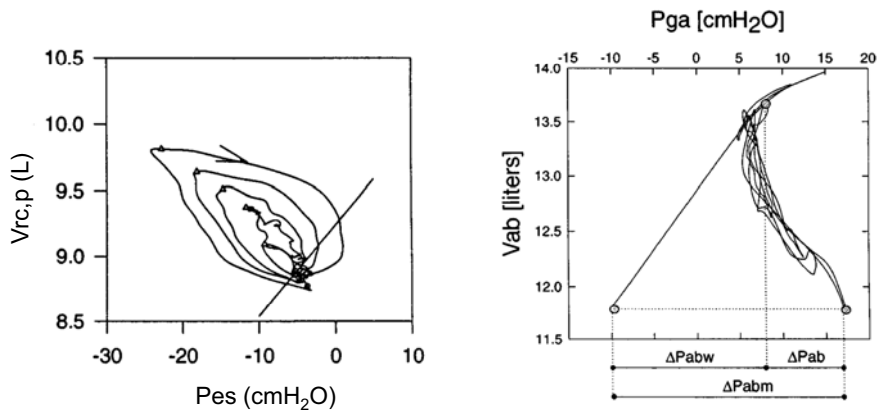
A. Aliverti - Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Pressione sviluppata dai muscoli della gabbia toracica e dell'addome

47



A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

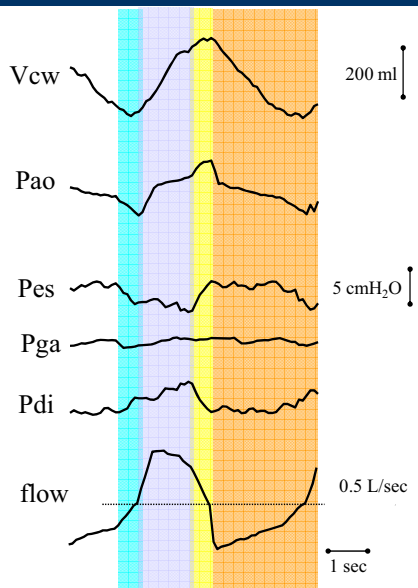
POLITECNICO DI MILANO



Stima dell'azione muscolare durante Pressure Support Ventilation (PSV)

48

- Phase 1: “unassisted” effort
- Phase 2: “assisted” effort
- Phase 3: “assisted” relaxation
- Phase 4: expiration



Aliverti A, et al. *Crit Care Med*, 2006

A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

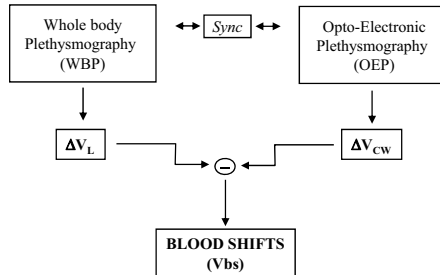
POLITECNICO DI MILANO



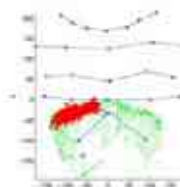
OEP - sviluppi e prospettive future 1 – nuovi metodi e tecnologie

49

Doppia pletismografia (OEP + pletismografia corporea) per la misura degli spostamenti di sangue



Combinazione OEP con ultrasuoni per la valutazione della funzione diaframmatica



A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



OEP - sviluppi e prospettive future 2 - nuovi protocolli

50

Neonatologia e pediatria



Sonno



Ventilazione meccanica non invasiva e weaning



A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



OEP: Verso la clinica

51



A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO



Crediti e ringraziamenti

52

- Politecnico di Milano
A. Pedotti, R. Dellacà, A. Lo Mauro
- Ist. Medea – La Nostra Famiglia Bosisio P.
G. D'Angelo, A. Turconi, S. Pochintesta, F. Motta, M. Romei
- Altre collaborazioni
P.T. Macklem, L. Gattinoni, P. Pelosi, P.M. Calverley, G. Hedenstierna

A. Aliverti – Pletismografia Opto-Elettronica

POLITECNICO DI MILANO