

## La tecnologia Microstream™

Lo standard di riferimento per la capnografia



**SEDA S.p.A.**  
Via Tolstoi 7  
20090 Trezzano S/N (Milano)  
Tel 02/48424.1; Fax 02/48424290  
*sito internet: [www.sedaitaly.it](http://www.sedaitaly.it)*  
certificazione UNI EN ISO 9002

## Indice

Indice.....	2
Introduzione .....	3
Tecnologie convenzionali e limitazioni .....	3
Tecnologia Microstream .....	4
Sorgente di emissione MCS.....	4
Camera di campionamento ridotta (15 microlitri) .....	4
Minimo flusso di gas campionato (50 ml/min).....	4
Accurato anche nel monitoraggio dei neonati.....	5
Linee di campionamento .....	5
Interpretazione del capnogramma .....	5
Il capnogramma normale .....	5
Rapporto ventilazione/perfusione .....	6
Analisi del capnogramma.....	7
Applicazioni cliniche .....	13

## Introduzione

La capnografia è la misurazione non invasiva della concentrazione dell'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) presente nell'aria espirata.

La capnografia è importante per determinare l'assetto ventilatorio del paziente, mentre il capnografo è lo strumento che fornisce sia il valore numerico di EtCO<sub>2</sub> (End Tidal CO<sub>2</sub>, anidride carbonica di fine espirazione) sia l'andamento nel tempo della CO<sub>2</sub>, noto come capnogramma.

La capnografia viene definita "parametro ventilatorio vitale" perché fornisce una serie di informazioni che possono essere utili in diverse applicazioni cliniche. I capnografi possono essere utili per monitorare lo stato ventilatorio, per verificare perdite e interruzioni nel circuito di ventilazione o per controllare il corretto posizionamento del tubo endotracheale nel paziente. Inoltre la capnografia è utile per la diagnosi di specifiche patologie, per semplificare le scelte terapeutiche o verificare l'ipoventilazione durante la sedazione, oltre a controllare l'efficacia dei trattamenti e fornire indicazioni sull'outcome dei pazienti.

## Tecnologie convenzionali e limitazioni

La capnografia si basa sul principio che le molecole di CO<sub>2</sub> assorbono la radiazione infrarossa ad una particolare lunghezza d'onda. Il capnografo è un apparecchio che presenta dei particolari fotorivelatori, specifici per tale lunghezza d'onda, che permettono di calcolare la quantità di CO<sub>2</sub> presente nell'aria espirata.

I capnografi convenzionali hanno solitamente un elemento riscaldato, chiamato "corpo nero", che emette la radiazione infrarossa; questo tipo di emettitore è impreciso e inefficiente a causa dell'ampio spettro di luce infrarossa prodotto.

Il risultato è che il capnografo richiede delle grandi camere di campionamento e elevate portate di gas espirato, che causano occlusioni e problemi di accuratezza. Bisogna inoltre aggiungere che i corpi neri utilizzati come emettitori generano molto calore, richiedendo delle caratteristiche hardware che limitano la portabilità e resistenza dell'apparecchio.

I capnografi sono suddivisi in due categorie: mainstream e sidestream.

Nei capnografi mainstream il sensore è posizionato direttamente sul circuito di ventilazione del paziente.

Nei capnografi sidestream viene prelevato in continuo un campione di gas espirato dal circuito di ventilazione che viene analizzato per mezzo di un sensore posto all'interno del monitor. Entrambi i sistemi hanno diverse limitazioni, elencate in seguito, che ne limitano il potenziale dal punto di vista clinico:

- ✓ L'umidità e le secrezioni occludono frequentemente il circuito di campionamento, causando inutili allarmi, interrompendo il monitoraggio e rendendo inaffidabile la misurazione.
- ✓ I sensori di CO<sub>2</sub> sono influenzati dalla presenza di gas anestetici
- ✓ I sistemi mainstream richiedono sensori più grandi e pesanti che incrementano lo spazio morto del circuito ventilatorio. Il sovrappeso è anche causa di piegature nel tubo e di estubazioni accidentali.
- ✓ I capnografi mainstream non possono essere applicati ai pazienti non intubati
- ✓ I capnografi sidestream convenzionali non sono accurati nei neonati e nei pazienti pediatrici.

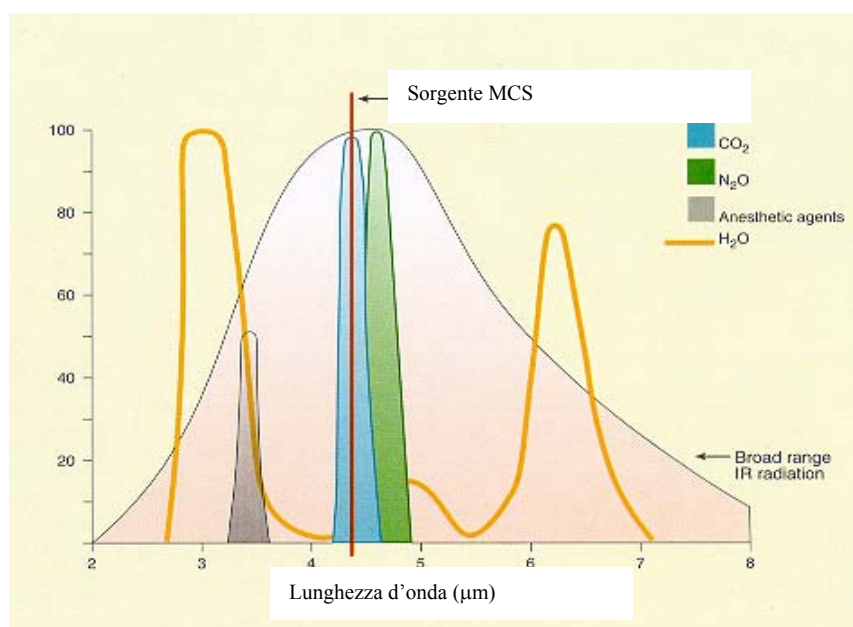
## Tecnologia Microstream

La tecnologia Oridion Microstream ha permesso di risolvere i problemi che caratterizzano tutti gli altri tipi di capnometri. Grazie al particolare sistema di trattamento dell'aria espirata, vengono eliminati i problemi dovuti all'occlusione della linea di campionamento causata dalle secrezioni e dall'umidità. Il risultato è un monitor accurato e semplice che è applicabile su tutti i pazienti, intubati e non intubati, neonati o adulti.

### Sorgente di emissione MCS

Il sistema Microstream si basa sulla tecnologia laser MCS™ (molecular correlation spectroscopy), impiegata come sorgente della radiazione infrarossa a banda stretta. L'emettitore MCS funziona a temperatura ambiente, è attivato elettronicamente ed è auto-modulante, per eliminare la necessità di parti in movimento.

Con la tecnologia MCS l'emissione infrarossa è perfettamente coincidente con il massimo assorbimento di luce da parte della CO<sub>2</sub>. Il fascio infrarosso focalizzato (4,32-4,35 μm) corrisponde alla ristretta banda dello spettro infrarosso nella quale la CO<sub>2</sub> assorbe la radiazione. Lo spettro di emissione del corpo nero, tipicamente utilizzato come sorgente di infrarossi, è circa 135 volte più ampio. Poiché l'assorbimento della radiazione MCS è dovuto alla sola anidride carbonica, non sono necessari particolari algoritmi per la correzione della misura in presenza di alte concentrazioni di ossigeno o di gas anestetici.



### Camera di campionamento ridotta (15 microlitri)

L'alta efficienza e l'emissione specifica per la CO<sub>2</sub> del laser MCS permettono di avere un percorso luminoso estremamente ridotto. La conseguenza è che anche la camera di campionamento può essere di dimensioni estremamente contenute (15 microlitri) rispetto alle camere di campionamento convenzionali.

### Minimo flusso di gas campionato (50 ml/min)

Il flusso di gas campionato è importante perché tanto più è ridotto tanto più si limita la possibilità per le secrezioni e l'umidità di ostruire la linea di campionamento. Questo è un problema tipico della tecnologia di tipo sidestream.

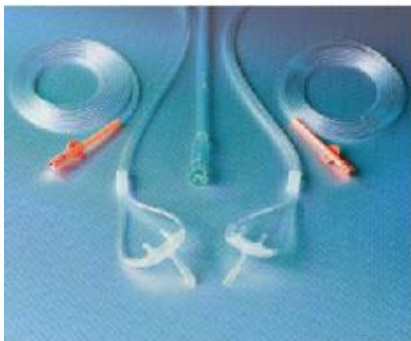
Mentre gli altri capnografi richiedono tipicamente portate di 100-150 ml/min, la tecnologia Microstream opera con una portata di soli 50 ml/min,

## Accurato anche nel monitoraggio dei neonati

I vantaggi della camera di campionamento ridotta e del basso flusso di gas prelevato permettono l'applicazione della capnografia anche nei neonati, che presentano alte frequenze respiratorie e piccoli volumi polmonari, senza distorsioni nella forma d'onda e con una buona accuratezza dell' $\text{EtCO}_2$  misurata.

### Linee di campionamento

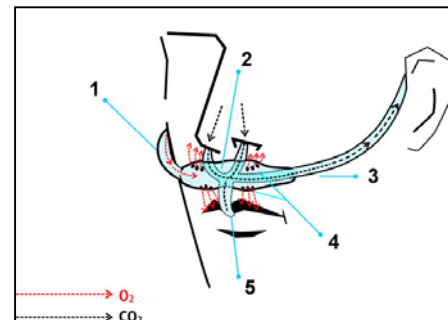
La tecnologia sidestream convenzionale richiede la presenza di un'apposita "Water Trap" sulla linea di campionamento che deve essere applicata in posizione verticale per eliminare in modo corretto l'umidità dal circuito. Le linee Filterline, specifiche per la tecnologia Microstream, incorporano il filtro idrofobico nella linea di campionamento, funzionano in ogni posizione e eliminano la necessità della "water trap". Sono in unico elemento per la massima semplicità di applicazione, mentre la lavorazione interna dei tubi (Microbore) mantiene il flusso laminare per avere tempi rapidi di risposta e nessuna distorsione nel capnogramma. Per gli ambienti ad alta umidità



esistono linee di campionamento che integrano un inserto in Nafion, al fine di ridurre la concentrazione di vapore acqueo che entra nel capnometro mantenendo comunque inalterata la semplicità di applicazione delle linee.

Il campionamento del gas espirato viene effettuato sia a livello del naso che della bocca, in modo da ottenere sempre un capnogramma affidabile.

Nel caso il paziente richieda una contemporanea somministrazione di ossigeno, le linee Filterline/Capnoline dispongono di una apposita via indipendente dalla linea di campionamento per evitare alterazioni nella lettura.



## Interpretazione del capnogramma

### Il capnogramma normale

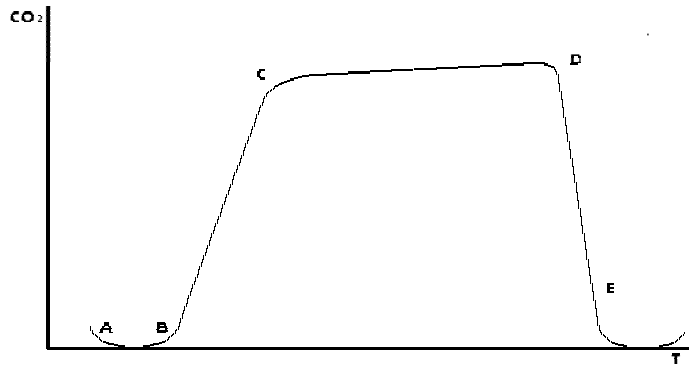
Un capnogramma normale mostra i cambiamenti della pressione parziale della  $\text{CO}_2$  durante il ciclo respiratorio ed ha una particolare forma rappresentata nella figura seguente. Il valore normale per l'anidride carbonica di fine espirazione è compreso fra 35 e 45 mmHg. Questo numero è riferito alla massima concentrazione di  $\text{CO}_2$  nell'aria espirata e si misura poco prima dell'inspirazione successiva.

Durante la prima fase dell'espirazione (tratto A-B) la  $P_{\text{E}}\text{CO}_2$  (pressione parziale della  $\text{CO}_2$  espirata) rimane prossima allo zero perché il gas esalato è quello contenuto nello spazio morto anatomico. Lo spazio morto anatomico è il volume di gas che riempie le vie aeree senza raggiungere la membrana alveolare e quindi non partecipa allo scambio gassoso.

La seconda fase (tratto B-C) mostra l'inizio dello svuotamento alveolare, dove la  $P_{\text{E}}\text{CO}_2$  aumenta rapidamente a causa del miscelamento dell'aria alveolare con il gas presente nello spazio morto.

La terza fase (tratto C-D) è chiamata plateau alveolare e rappresenta effettivamente il gas presente negli alveoli. Il picco finale di questa fase (punto D) è chiamato EtCO<sub>2</sub> (End tidal CO<sub>2</sub>) o anidride carbonica di fine espirazione ed è il valore numerico mostrato dal capnometro.

Nell'ultima fase (tratto D-E) la P<sub>E</sub>CO<sub>2</sub> diminuisce e ritorna a zero a causa dell'inalazione di gas da parte del paziente durante la successiva inspirazione.



### Rapporto ventilazione/perfusione

Durante ogni atto respiratorio, gli alveoli scambiano anidride carbonica ed ossigeno con il sangue. Durante l'inspirazione gli alveoli ricevono ossigeno che diffonde nei capillari polmonari, mentre la CO<sub>2</sub> diffonde negli alveoli e viene eliminata con l'espirazione.

La differenza fra EtCO<sub>2</sub> (alveolare) e la PaCO<sub>2</sub> (pressione parziale della CO<sub>2</sub> nel sangue arterioso), nota come a-ADCO<sub>2</sub>, è compresa normalmente fra 2 e 5 mmHg.

Lo schema sottostante mostra una serie di alterazioni nel rapporto ventilazione/perfusione che possono modificare la differenza a-ADCO<sub>2</sub>.

La differenza a-ADCO<sub>2</sub> è utile nella scelta del trattamento da somministrare al paziente, mentre il suo andamento nel tempo mostra l'efficacia della terapia.

#### Normale

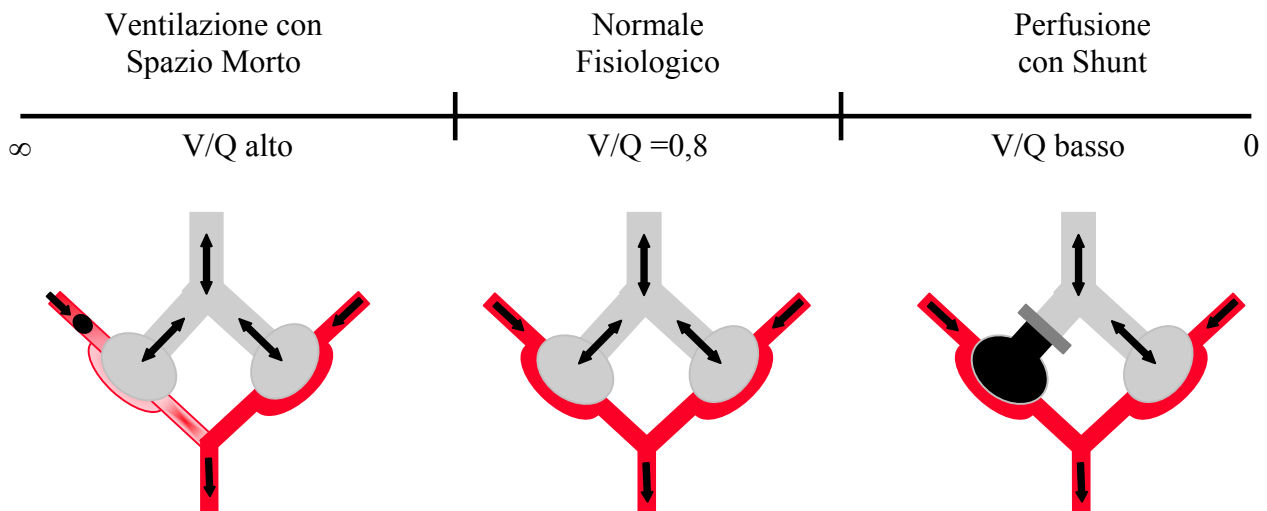
Il rapporto V/Q (ventilazione/perfusione) normale è 0.8, basato su 4 litri/minuto di scambio gassoso rispetto a 5 litri/minuto di perfusione. La differenza a-ADCO<sub>2</sub> risultante vale tipicamente 2-5 mmHg

#### Spazio Morto

In presenza di ventilazione con spazio morto, il rapporto V/Q elevato causa un aumento del valore a-ADCO<sub>2</sub>.

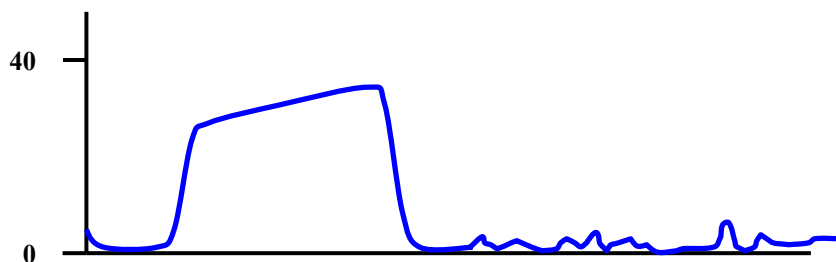
#### Perfusione con shunt

La perfusione con shunt presenta un rapporto V/Q ridotto, e tipicamente una differenza a-ADCO<sub>2</sub> più bassa



## Analisi del capnogramma

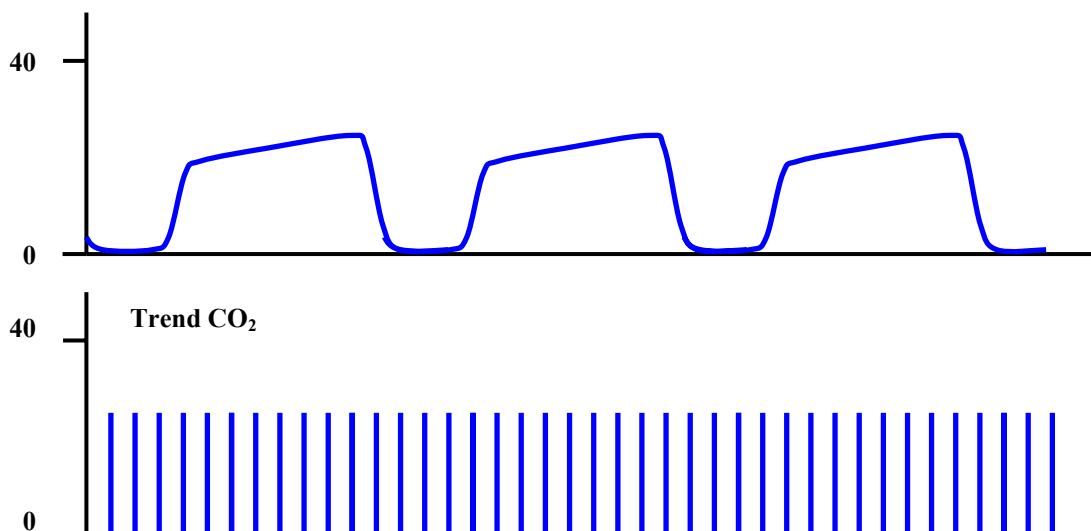
### Improvviso calo di EtCO<sub>2</sub> a zero o valori prossimi allo zero



Possibili cause:

- Scollegamento delle vie aeree
- Dislocazione del tubo endotracheale/ intubazione dell'esofago
- Tubo endotracheale completamente ostruito
- Malfunzionamento del ventilatore

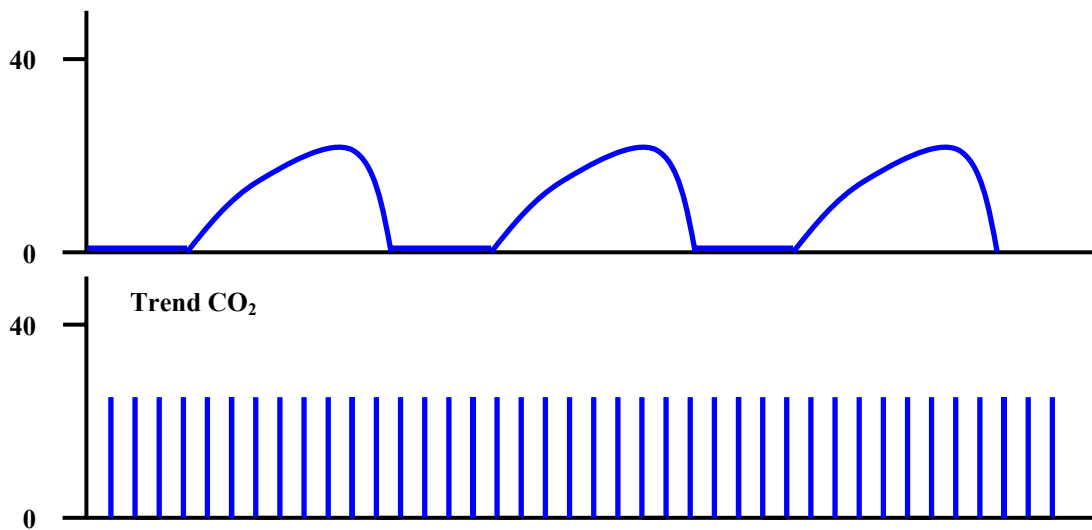
### EtCO<sub>2</sub> costantemente bassa con plateau alveolare normale



Possibili cause:

- Iperventilazione
- Ipotermia
- Sedazione, anestesia
- Ventilazione con spazio morto

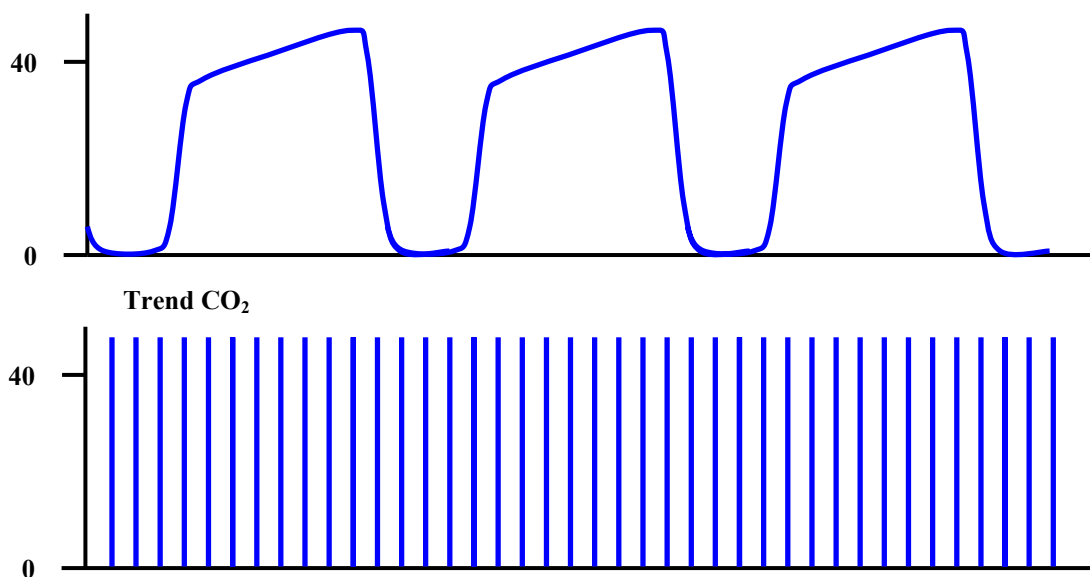
EtCO<sub>2</sub> costantemente bassa senza plateau alveolare



Possibili cause:

- Espirazione incompleta
- Tubo endotracheale parzialmente piegato
- Broncospasma
- Tecnica di campionamento scadente

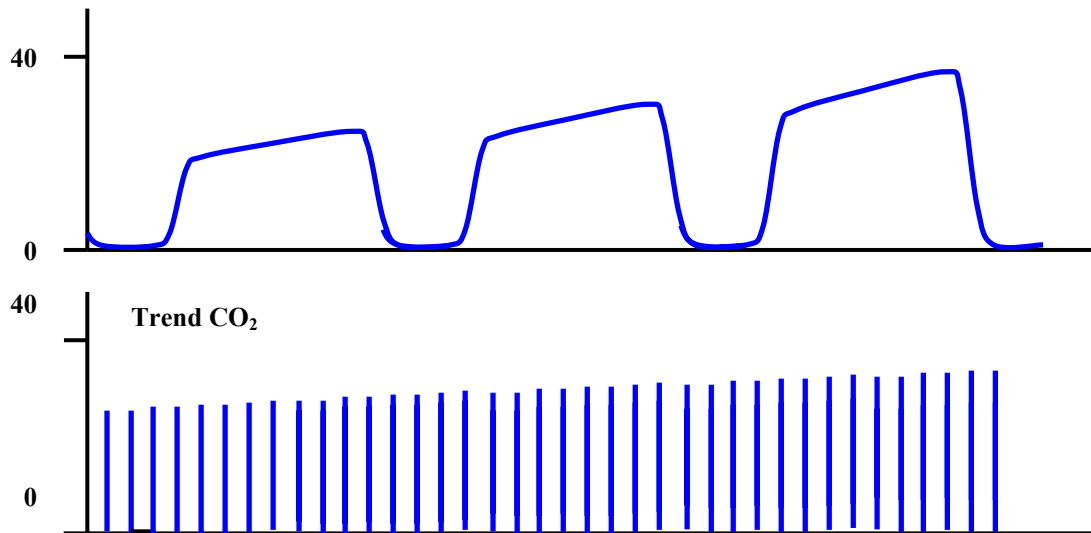
EtCO<sub>2</sub> costantemente alta con plateau alveolare normale



Possibili cause:

- Ventilazione con volume/minuto inadeguato o ipoventilazione
- Farmaci depressivi della funzione respiratoria
- Ipertermia, dolore, tremore

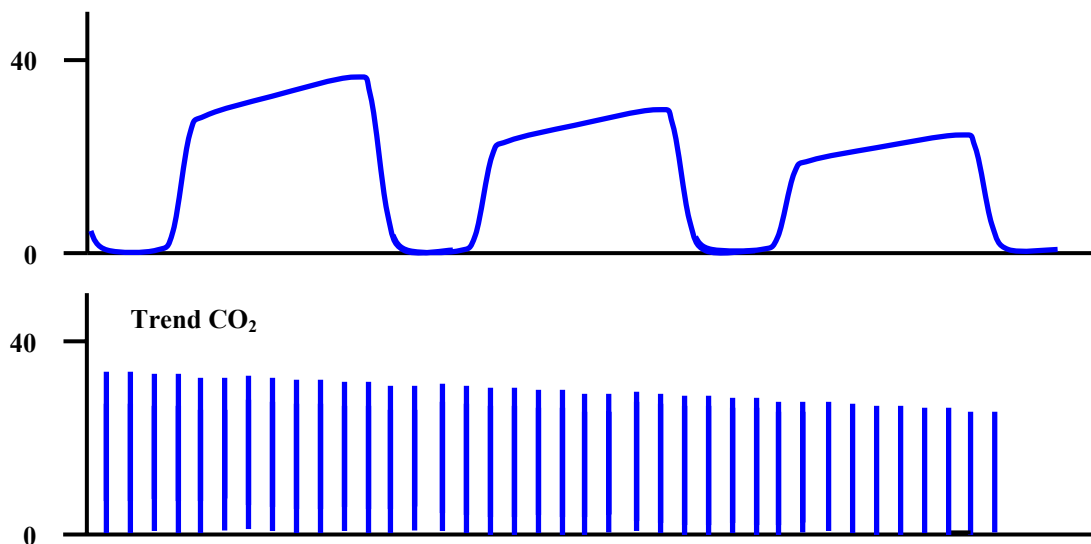
Aumento graduale di EtCO<sub>2</sub>



Possibili cause:

- Ipoventilazione
- Aumento della temperatura corporea / Ipertermia maligna
- Metabolismo accelerato
- Ostruzione parziale delle vie aeree
- Assorbimento di CO<sub>2</sub> da sorgente esogena

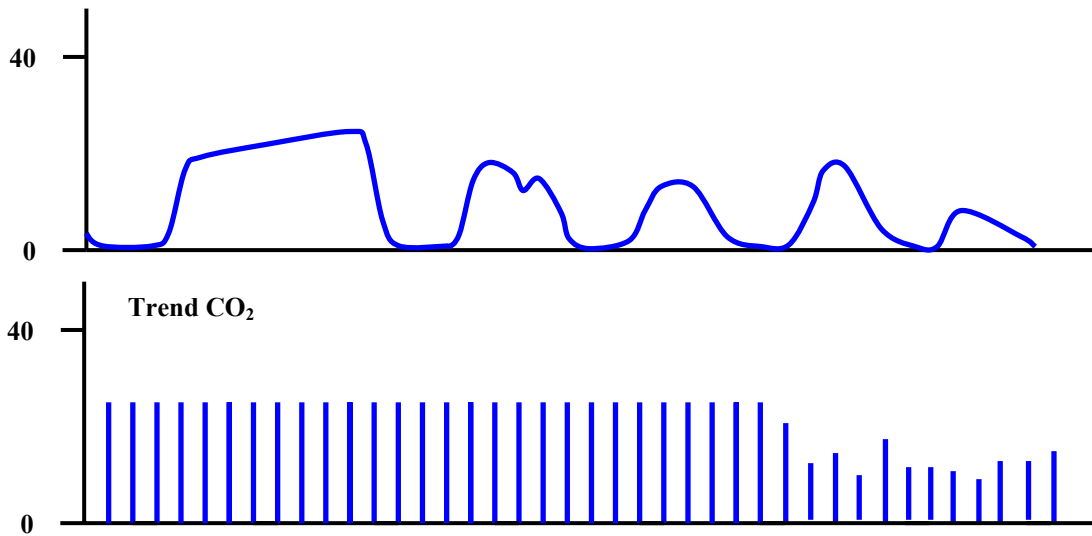
Diminuzione esponenziale di EtCO<sub>2</sub>



Possibili cause:

- Arresto cardiopolmonare
- Embolia polmonare
- Ipotensione improvvisa; Emorragia massiva
- Bypass cardiopolmonare

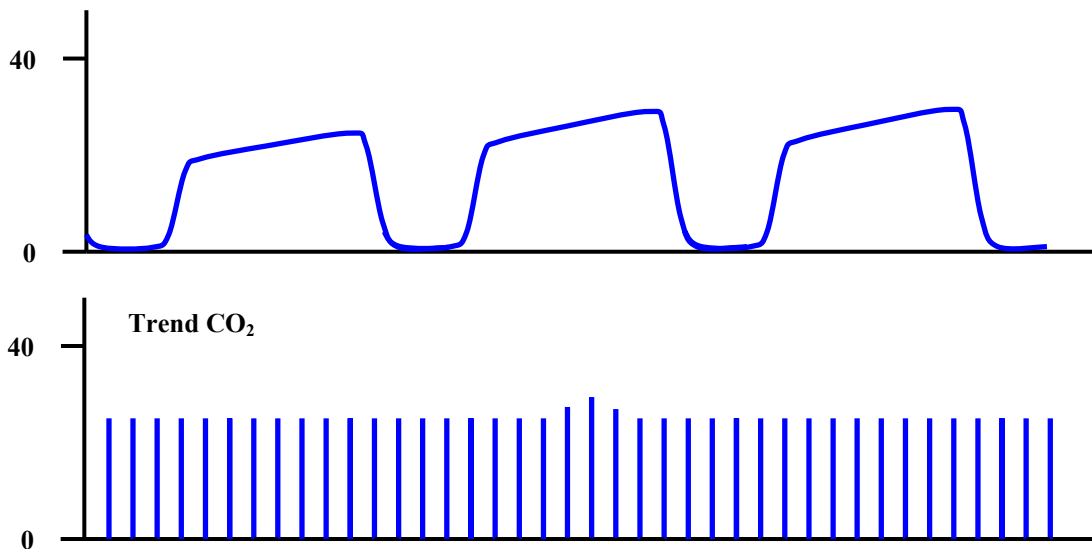
Diminuzione sostenuta di EtCO<sub>2</sub> verso un valore basso ma non nullo



Possibili cause:

- Perdite nel circuito ventilatorio
- Tubo endotracheale in ipofaringe
- Maschera per anestesia mal posizionata
- Ostruzione parziale delle vie aeree
- Circuito di ventilazione mal collegato

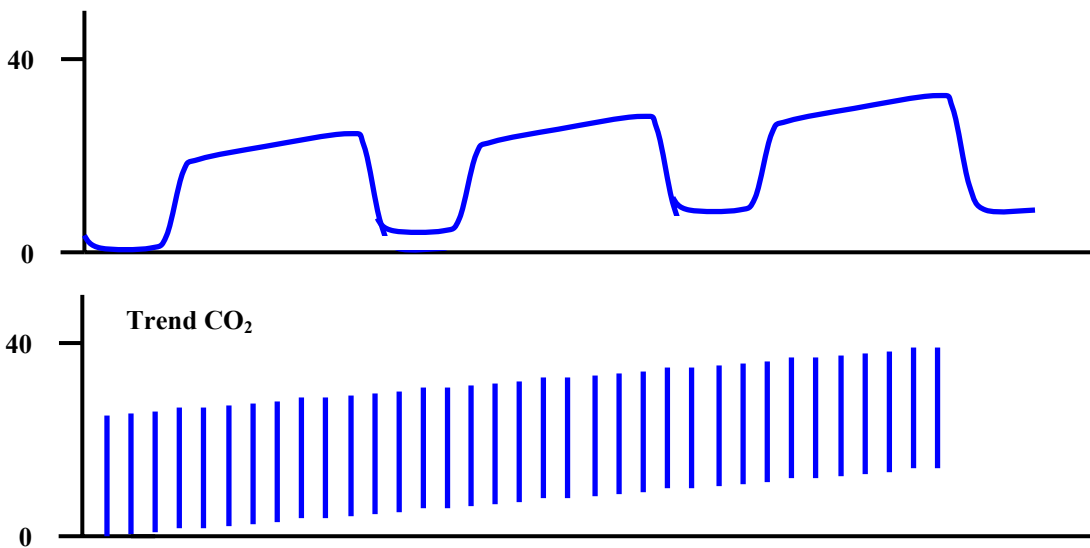
Improvviso aumento di EtCO<sub>2</sub>



Possibili cause:

- Rilascio del laccio emostatico

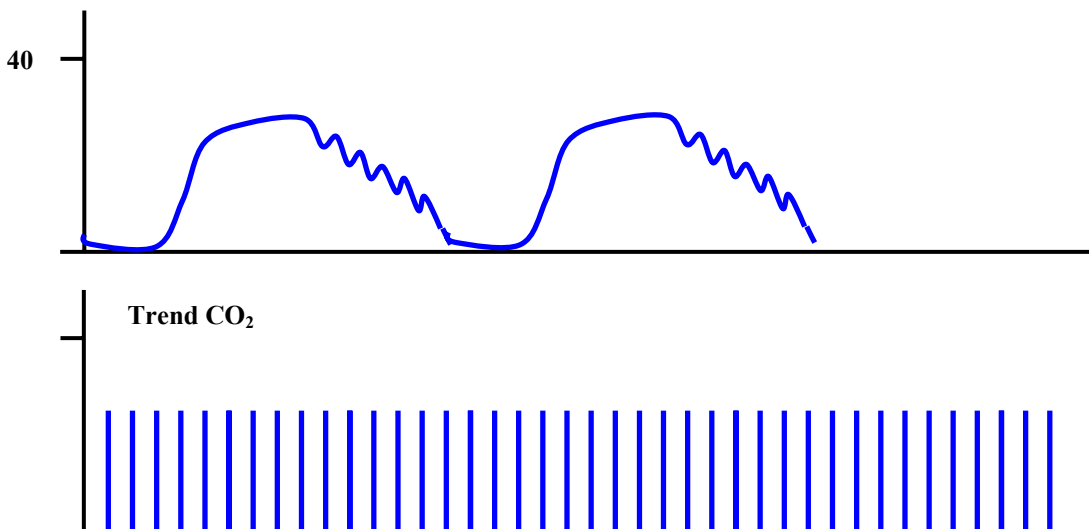
Aumento della baseline di EtCO<sub>2</sub>



Possibili cause:

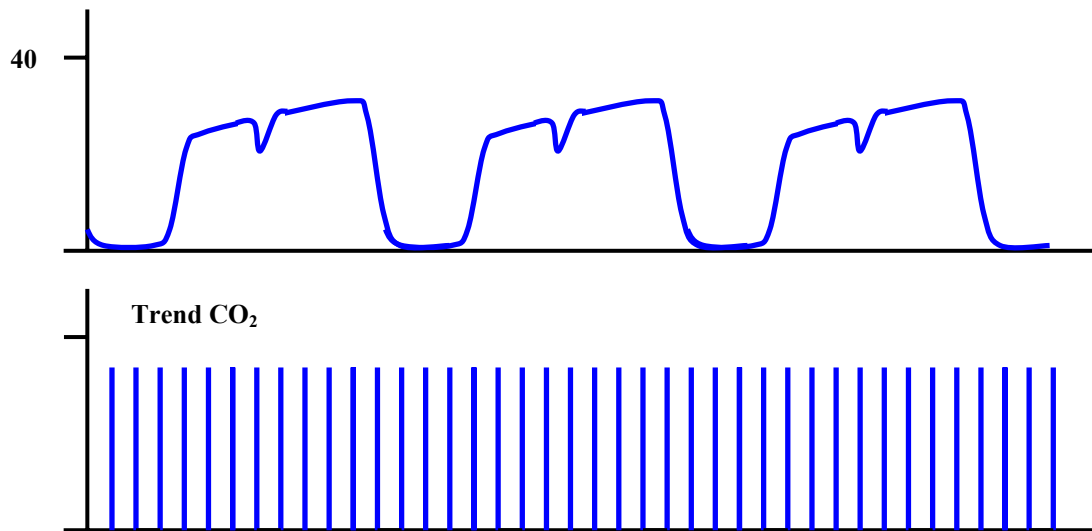
- Valvola di espirazione difettosa
- Re-inspirazione di CO<sub>2</sub> precedentemente espirata
- Assorbente di CO<sub>2</sub> esaurito

Oscillazioni cardiogene



Le oscillazioni cardiogene sono causate dalle variazioni del volume toracico dovute alla contrazione del miocardio. Tali oscillazioni si presentano spesso nei pazienti con tidal volume ridotto e con basse frequenza di respirazione; se l'entità delle oscillazioni è ridotta sono da considerare fisiologiche.

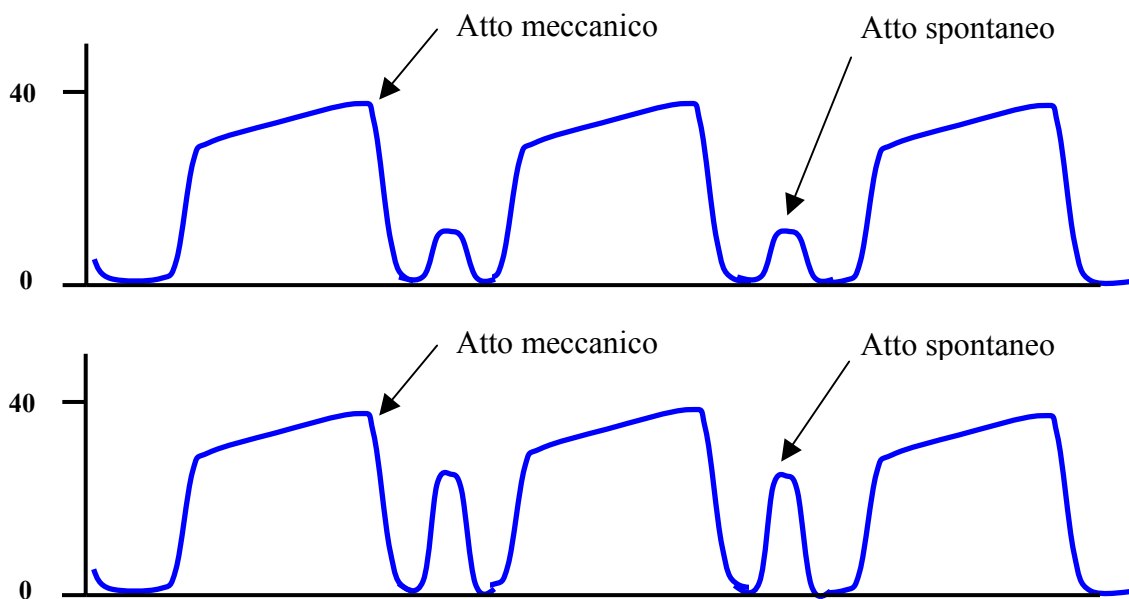
Picco nel plateau



Possibili cause:

- Possibile recupero da blocco neuromuscolare

Respirazione spontanea durante la ventilazione meccanica



Gli sforzi respiratori durante la ventilazione meccanica sono ben visibili sul capnogramma. La curva in basso è relativa ad un paziente con una qualità della respirazione spontanea migliore del paziente in alto.

## Applicazioni cliniche

### AREA

### APPLICAZIONE CLINICA

---

#### **Emergenza, Trasporto**

- Verifica del posizionamento corretto del tubo endotracheale
- Valutazione del CPR e come predittore dell'outcome
- Immediata valutazione dello stato dei pazienti con insufficienza respiratoria come Asma, COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease, es. enfisema e bronchite cronica), e CHF (Congestive Heart Failure)
- Valutazione e monitoraggio di pazienti con trauma cranico
- Monitoraggio di pazienti con depressione della funzione respiratoria dovuta a sedazione, analgesia o overdose

#### **Pronto Soccorso**

- Verifica del posizionamento corretto del tubo endotracheale, all'arrivo del paziente o qualora sia necessario procedere con l'intubazione
- Verifica immediata dello stato cardiopolmonare di pazienti traumatizzati, in particolare quelli con trauma cranico
- Valutazione dello stato di pazienti con stati di insufficienza respiratoria come asma, COPD (chronic obstructive pulmonary disease, es. enfisema e bronchite cronica), e CHF (Congestive heart failure)
- Verifica del CPR e come predittore dell'outcome
- Il monitoraggio continuo di EtCO<sub>2</sub> permette di:
  - Verificare l'efficacia degli interventi terapeutici
  - Controllare la depressione respiratoria dovuta a sedazione, analgesia e overdose.

#### **Procedure di laboratorio (cateterismo cardiaco, endoscopia gastrointestinale, polmonare, elettrofisiologia)**

- Verifica e mantenimento del posizionamento corretto del tubo endotracheale
- Il monitoraggio continuo di EtCO<sub>2</sub> durante la sedazione permette di:
  - Controllare con sicurezza le condizioni dei pazienti, specialmente per quelli posti in posizioni nelle quali possa essere difficile verificarne lo stato
  - Identificare l'ipoventilazione dovuta alla sedazione e/o analgesia
  - Guidare il dosaggio di farmaci durante le procedure invasive

### **Sala operatoria**

- Verifica e mantenimento del posizionamento corretto del tubo endotracheale
- Monitoraggio dello stato del paziente in modo da allertare tempestivamente il medico in caso di complicazioni cardiopolmonari o ipertermia maligna
- Monitoraggio della funzione respiratoria per identificare rapidamente eventuali malfunzionamenti nel ventilatore meccanico
- Gestione della ventilazione in caso di somministrazione di farmaci depressivi della funzione respiratoria, sia nel caso di pazienti intubati che non intubati.
- Verifica dell'efficacia del massaggio cardiaco e identificazione del ritorno alla circolazione spontanea.

### **In corso di anestesia**

- Verifica e mantenimento del posizionamento corretto del tubo endotracheale
- Monitoraggio dello stato del paziente in modo da allertare tempestivamente il medico in caso di ipertermia maligna.
- Analisi dell'equilibrio ventilazione-perfusione per identificare la gravità della patologia e per ottimizzare il trattamento da somministrare al paziente.
- Gestione della ventilazione in caso di somministrazione di farmaci depressivi della funzione respiratoria, sia nel caso di pazienti intubati che non intubati.
- Verifica dell'efficacia del massaggio cardiaco e identificazione del ritorno alla circolazione spontanea.

### **Reparto di Terapia intensiva (Adulti)**

- Verifica e mantenimento del posizionamento corretto del tubo endotracheale.
- Verifica dell'efficacia del massaggio cardiaco e identificazione del ritorno alla circolazione spontanea.
- Monitoraggio continuo di EtCO<sub>2</sub> durante la procedura di sedazione e analgesia
- Analisi dell'equilibrio ventilazione-perfusione per identificare la gravità della patologia e per ottimizzare il trattamento da somministrare al paziente.
- Monitoraggio dello stato respiratorio durante la sospensione del supporto ventilatorio meccanico e in seguito all'estubazione.
- Identificazione del recupero da blocco neuromuscolare
- Monitoraggio di pazienti con trauma cranico
- Valutazione della gravità dell'insufficienza respiratoria acuta

- Procedure in day –hospital  
(sala operatoria,  
radiologia...)**
- Monitoraggio durante la procedura di sedazione
  - Monitoraggio durante l’anestesia
- Terapia intensiva  
pediatrica/neonatale**
- Verifica e mantenimento del posizionamento corretto del tubo endotracheale.
  - Monitoraggio dello stato respiratorio durante la sospensione del supporto ventilatorio meccanico e in seguito all’estubazione.
  - Monitoraggio continuo e non invasivo al fine di ridurre il numero di prelievi di sangue per emogasanalisi.
  - Determinazione dell’adeguatezza dello svuotamento alveolare.
- Medicina generale e terapia  
sub-intensiva**
- Monitoraggio della ventilazione durante l’attività giornaliera.
  - Monitoraggio di pazienti con insufficienza cardiopolmonare cronica.
  - Monitoraggio di pazienti a rischio di insufficienza respiratoria
- Medicina del dolore**
- Monitoraggio di pazienti a rischio di ipoventilazione o apnea in seguito ad analgesia epidurale, iniezioni intratecali o alla somministrazione di narcotici
- Medicina domiciliare /  
Ventilazione di lungo termine**
- Monitoraggio dello stato ventilatorio durante la sospensione del supporto ventilatorio meccanico e in seguito all’estubazione.
  - Verifica dell’efficienza della respirazione, della frequenza e del lavoro respiratorio
  - Monitoraggio di pazienti con stati di insufficienza respiratoria come asma, COPD (chronic obstructive pulmonary disease, es. enfisema e bronchite cronica), e CHF (Congestive heart failure)
  - Valutazione dello stato delle patologie neuromuscolari quali distrofia muscolare, sclerosi muscolare, danni alla colonna vertebrale.



SEDA S.p.A.  
Via Tolstoj 7  
20090 Trezzano S/N (Milano)  
Tel 02/48424.1; Fax 02/48424290  
sito internet: [www.sedaitaly.it](http://www.sedaitaly.it)  
certificazione UNI EN ISO 9002

---