

**IX edizione**

# **CRRT** **nursing**

**CORSO CRRT**

---

***CRRT***

***concetti di base 3***

---

***Stefano Romagnoli, M.D., Ph.D.***



**Dip. di Anestesia e Rianimazione  
AOU Careggi - Firenze**

**CRRT: concetti di base 1:** come funzionano le CRRT. Come funziona il circuito extracorporeo? Quali sono i meccanismi di trasporto soluti e acqua nei filtri? | *Z. Ricci*



**CRRT: concetti di base 2:** Nomenclatura: descrizione delle varie componenti del circuito, membrane, filtri, parti delle apparecchiature e sensori | *M. Neri*

# Agenda



- **Tecniche:**

- **descrizione delle varie tecniche e delle loro caratteristiche sulla base di:**

- **Efficienza**
- **Peculiarità**
- **Impiego clinico**
- **Modalità applicative**



# RRT in ICU - Modalità

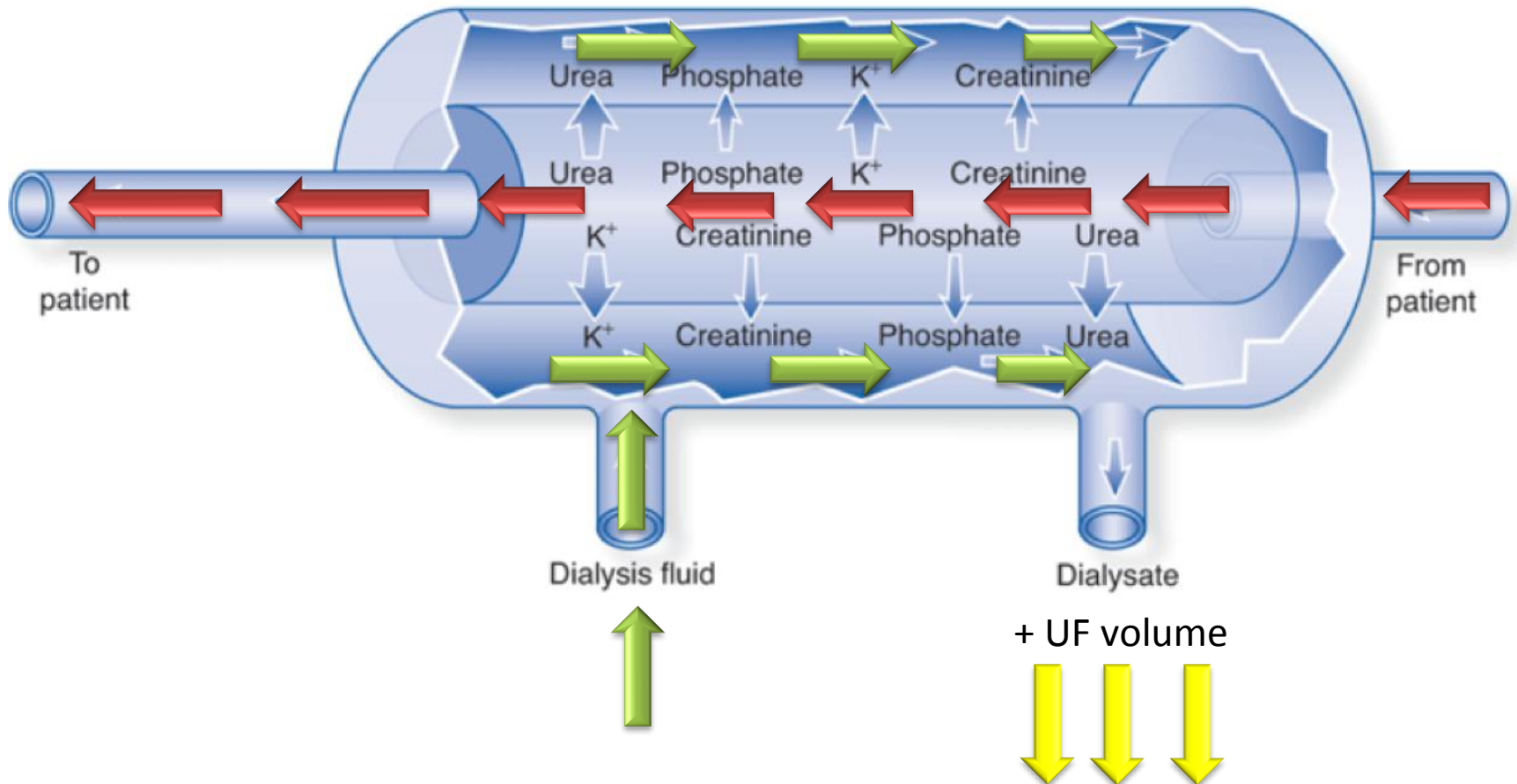
- Meccanismo prevalentemente **DIFFUSIVO**
  - IHD (Intermittent HemoDialysis)
  - **CVVHD** (Continous Veno-Venous HemoDialysis)
  - Tecniche “ibride” → SLED (Sustained Low-Efficiency Dialysis)
- Meccanismo prevalentemente **CONVETTIVO**
  - CAVH (Continous Artero-Venous Hemofiltration)
  - **CVVH** (Continous Veno-Venous Hemofiltration)
- Meccanismo **MISTO**
  - **CVVHDF** (Continous Veno-Venous Hemo-Diafiltration)

# RRT in ICU - Modalità

- Meccanismo prevalentemente **DIFFUSIVO**
  - IHD (Intermittent HemoDialysis)
  - **CVVHD**
  - Tecniche “ibride” → SLED (Sustained Low-Efficiency Dialysis)

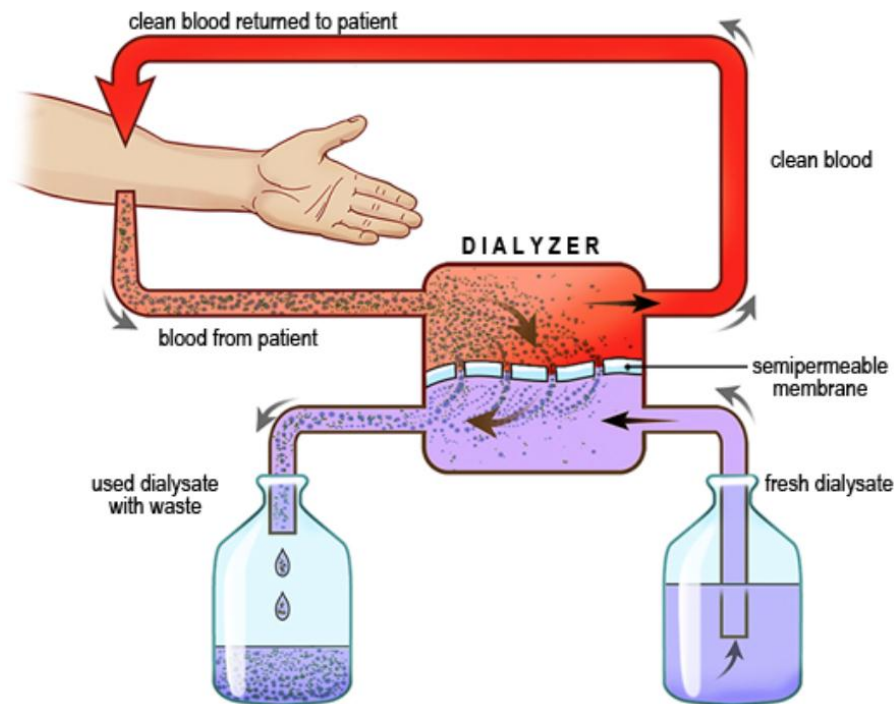
# IHD – Intermittent HemoDialysis

- Meccanismo principale per la rimozione dei solute è la DIFFUSIONE
- Ideale per PICCOLI SOLUTI

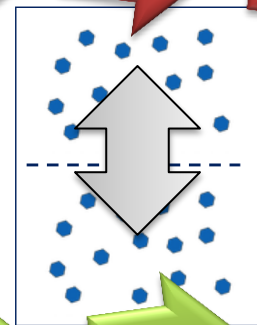
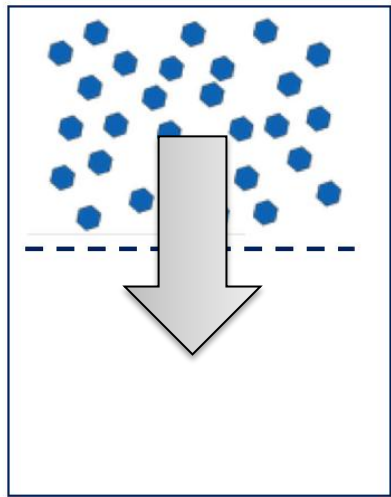


# IHD – Intermittent HemoDialysis

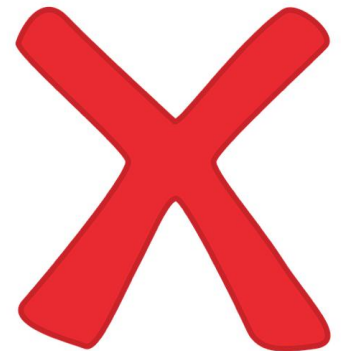
- Necessita di un EMODIALIZZATORE dove sangue e **soluzione di dialisi** circolano in **controcorrente**
  - In gradient medio di concentrazione viene mantenuto alto lungo tutto il dializzatore.



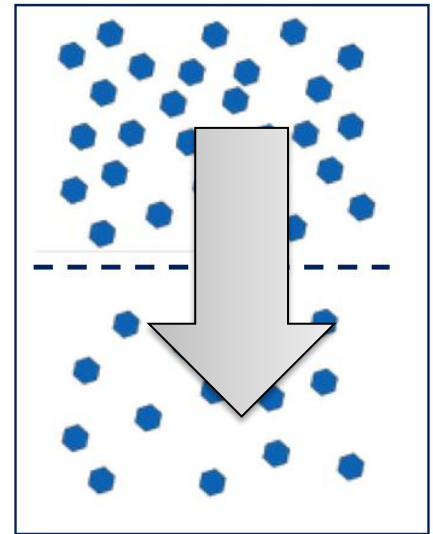
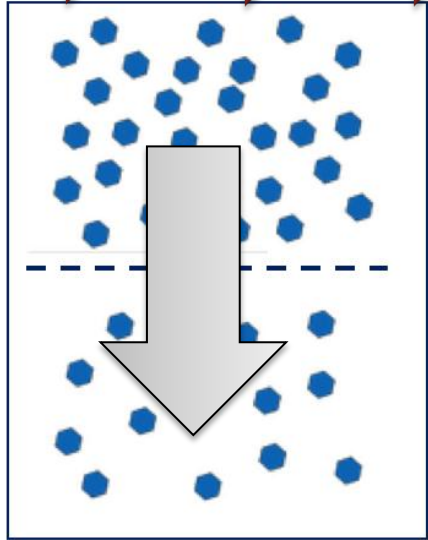
Flusso sangue ( $Q_B$ )



Flusso Dialisato ( $Q_D$ )

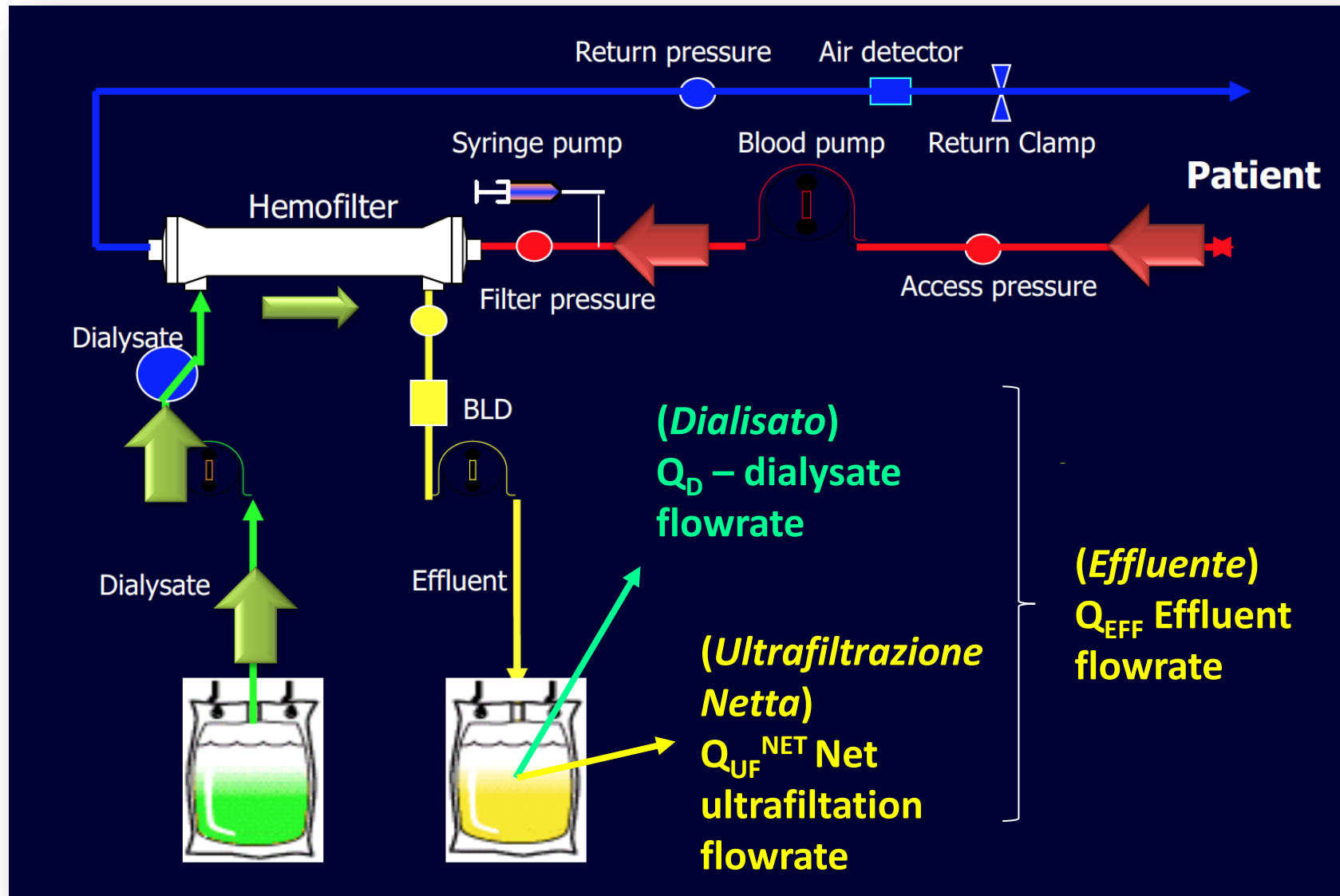


Flusso sangue ( $Q_B$ )



Flusso dialisato ( $Q_D$ )

# CVVHD (*Continuous Veno-Venous HemoDialysis*)



# SLED (*Sustained Low-Efficiency Dialysis*)

---

In relazione alla **frequenza e alla durata**, il termine “terapia ibrida” deriva dalla combinazione delle modalità **intermittente** e **continua**.

- Tecnica ibrida più comunemente descritta.
- Utilizza flussi sangue e dialisato ridotti per una durata di circa 8–12h.



Nomenclature for renal replacement therapy and blood purification techniques in critically ill patients: practical applications

# Hybrid therapies

---

Sono modalità che cercano di ottimizzare i vantaggi e **minimizzare gli svantaggi di entrambe:**

- Efficiente rimozione dei soluti
- Più lenta quota di ultrafiltrazione (ultrafiltration rate) → **stabilità emodinamica**
- Minore esposizione **all'anticoagulazione**
- Più breve **durata**
- Minori costi
- Minore carico di lavoro infermieristico
- Migliore “*ICU workflow*”



Nomenclature for renal replacement therapy and blood purification techniques in critically ill patients: practical applications

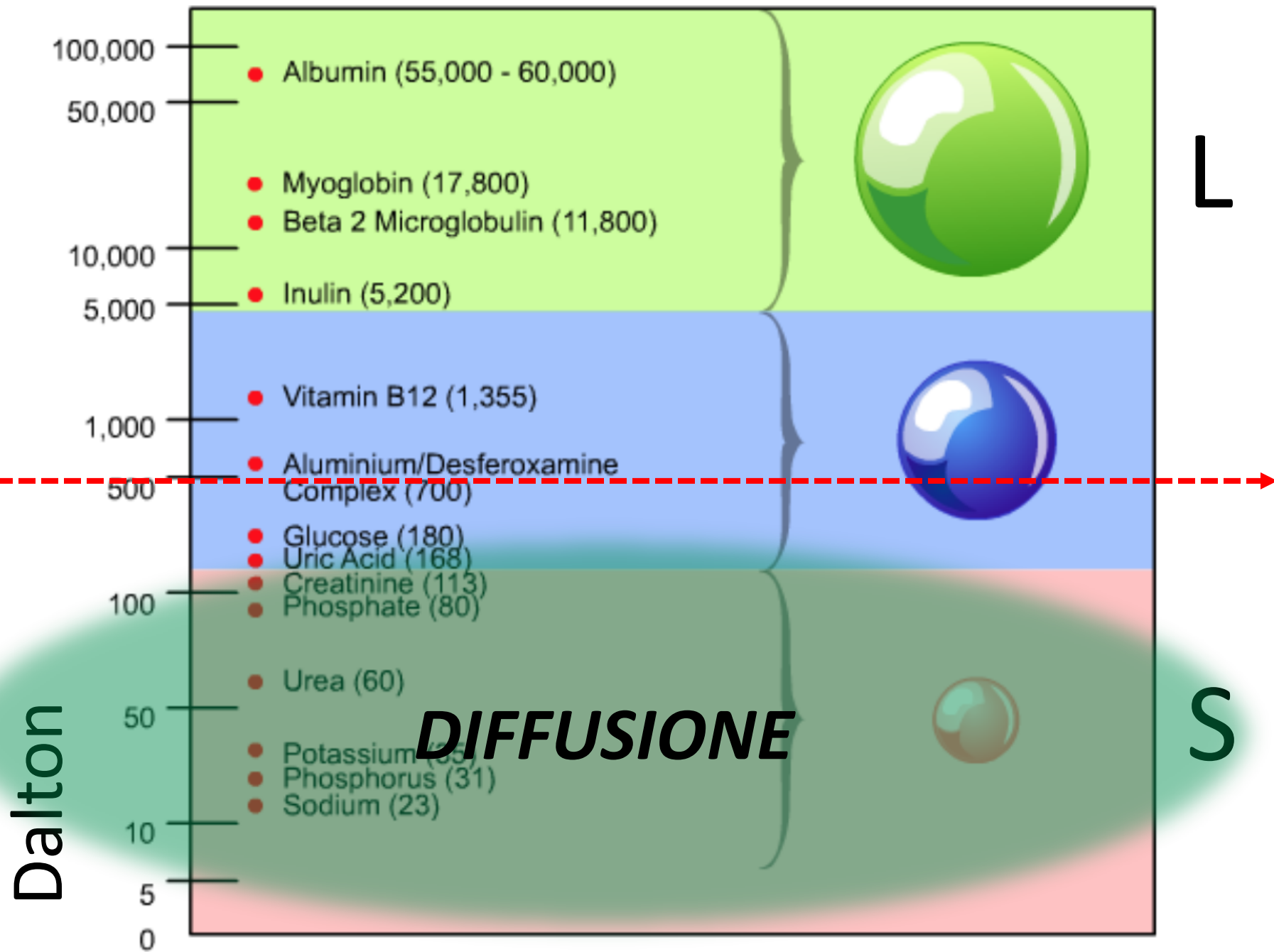
# Hybrid therapies



- Sustained low-efficiency dialysis (**SLED**)
- Slow low-efficiency extended daily dialysis (**SLEDD**)
- Prolonged intermittent RRT (**PIRRT**)
- Extended daily dialysis (**EDD**)
- Extended daily dialysis with filtration (**EDDf**)
- Extended dialysis (**ED**)
- “go slow dialysis”
- Accelerated veno-venous hemofiltration (**AVVH**).

- Si utilizza generalmente material di **IHD** (macchina, filtri, circuiti).
- La rimozione dei solute avviene prevalentemente con tecnica **diffusiva**.
- Esistono variant con tecnica **convettiva** (EDDf, AVVH)





# RRT in ICU - Modalità

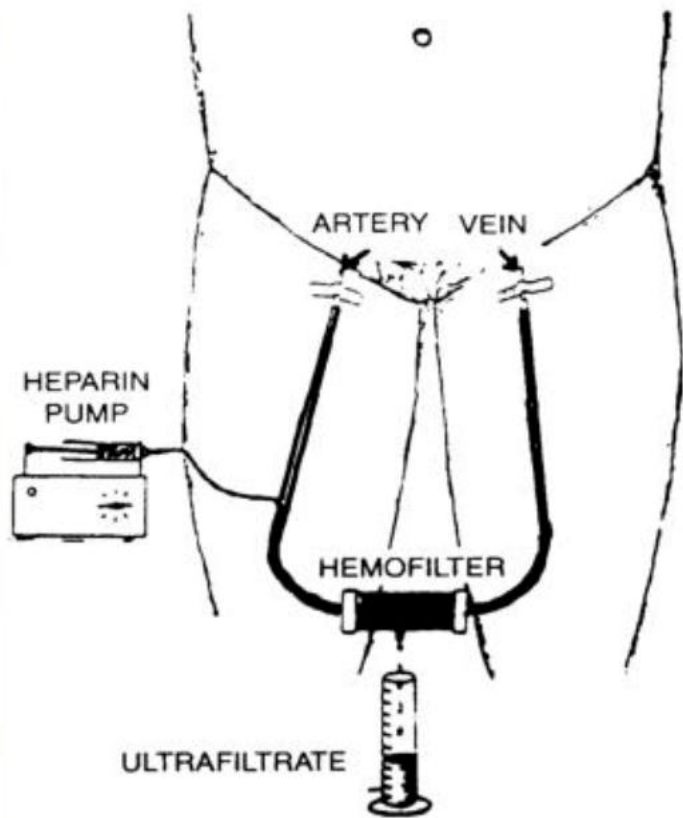
- Meccanismo prevalentemente DIFFUSIVO
  - IHD (Intermittent HemoDialysis)
  - **CVVHD**
  - Tecniche “ibride” → SLED (Sustained Low-Efficiency Dialysis)
- Meccanismo prevalentemente CONVETTIVO
  - CAVH (Continuous Artero-Venous Hemofiltration)
  - **CVVH** (Continuous Veno-Venous Hemofiltration)
- Meccanismo MISTO
  - **CVVHDF** (Continuous Veno-Venous Hemo-Dia-Filtration)

# RRT in ICU - Modalità

- Meccanismo prevalentemente CONVETTIVO
  - CAVH (Continuous Artero-Venous Hemofiltration)
  - **CVVH** (Continuous Veno-Venous Hemofiltration)

# CAVH (Continuous Artero-Venous Hemofiltration)

In 1977, Peter Kramer



Kramer P et al:

Arteriovenous haemofiltration: a new and simple method for treatment of over-hydrated patients resistant to diuretics, *Klin Wochenschr* 55:1121-1122, 1977.

Miller's Textbook of Anesthesia 8th Ed.  
Ricci Z, Romagnoli S, Ronco C.  
Ch 107: Extracorporeal Support Therapies

INDEXED  
TOXIN  
CLEARANCE

Hemodialysis

HEMOFILTRATION

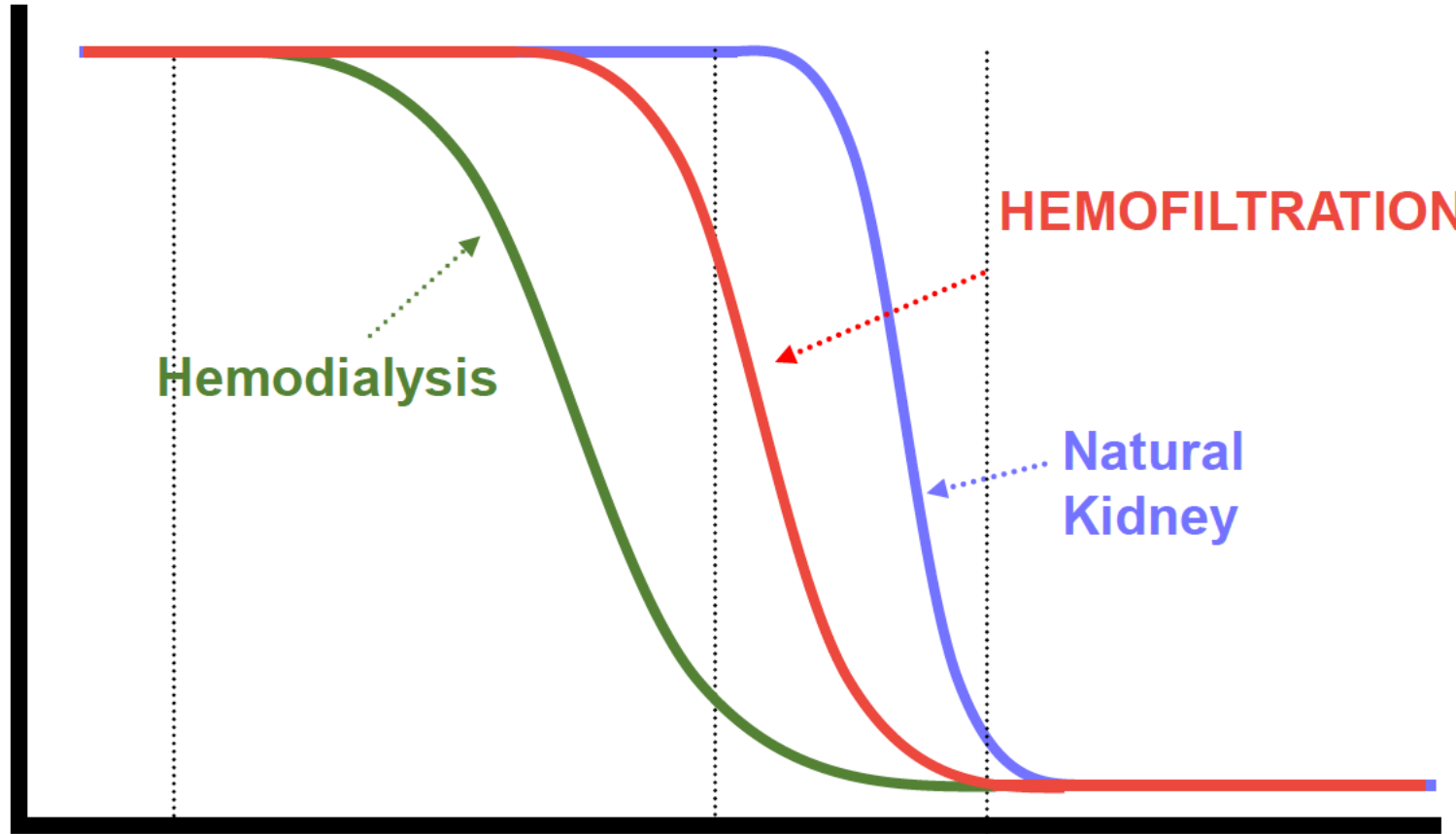
Natural  
Kidney

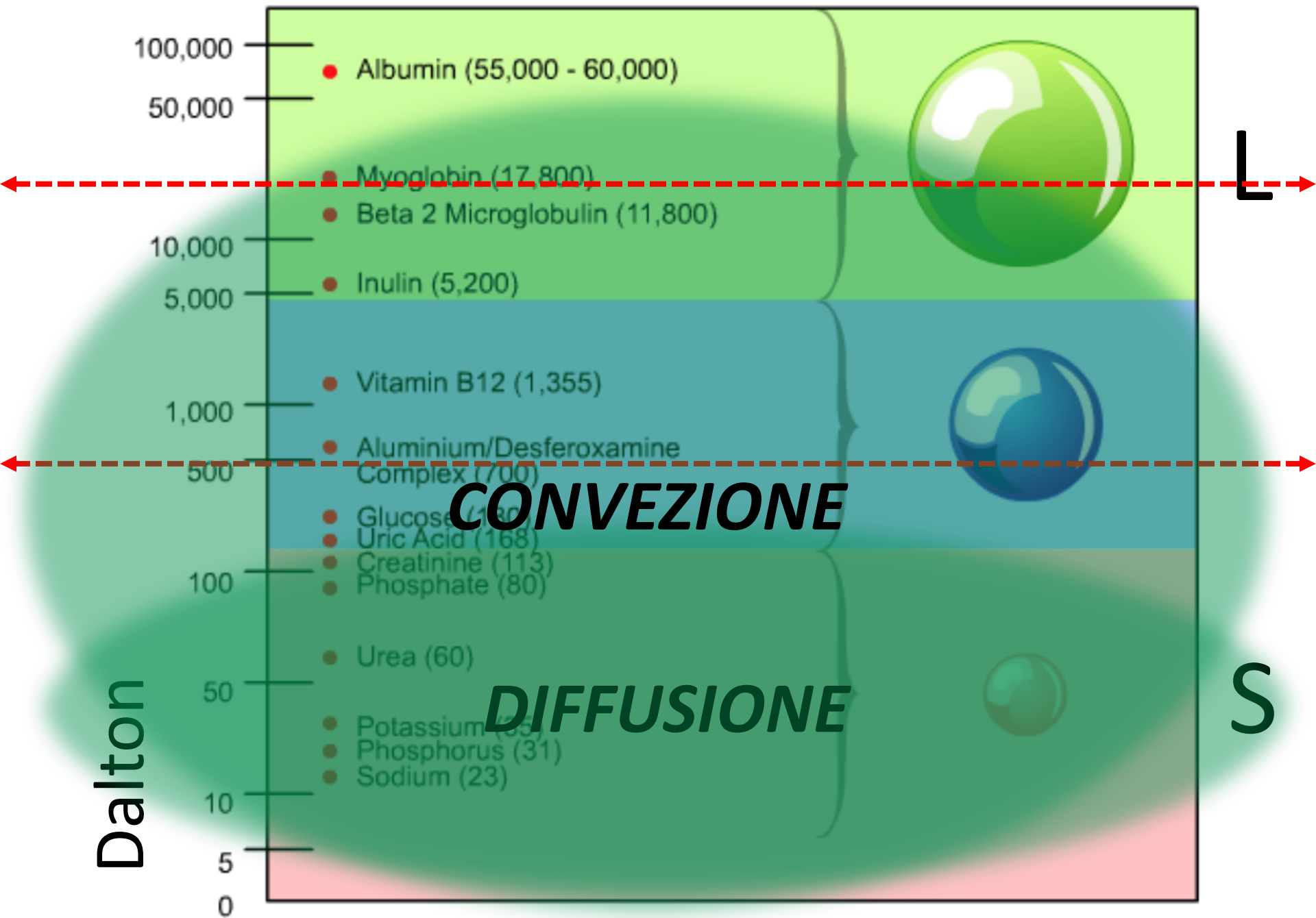
Urea  
(small  
molecule)

$\beta_2$ -m  
(Middle  
molecule)

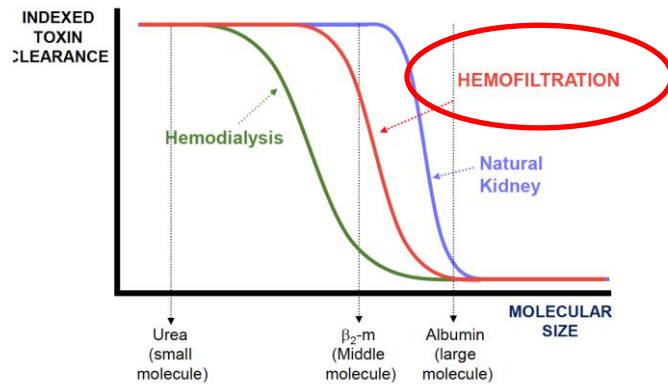
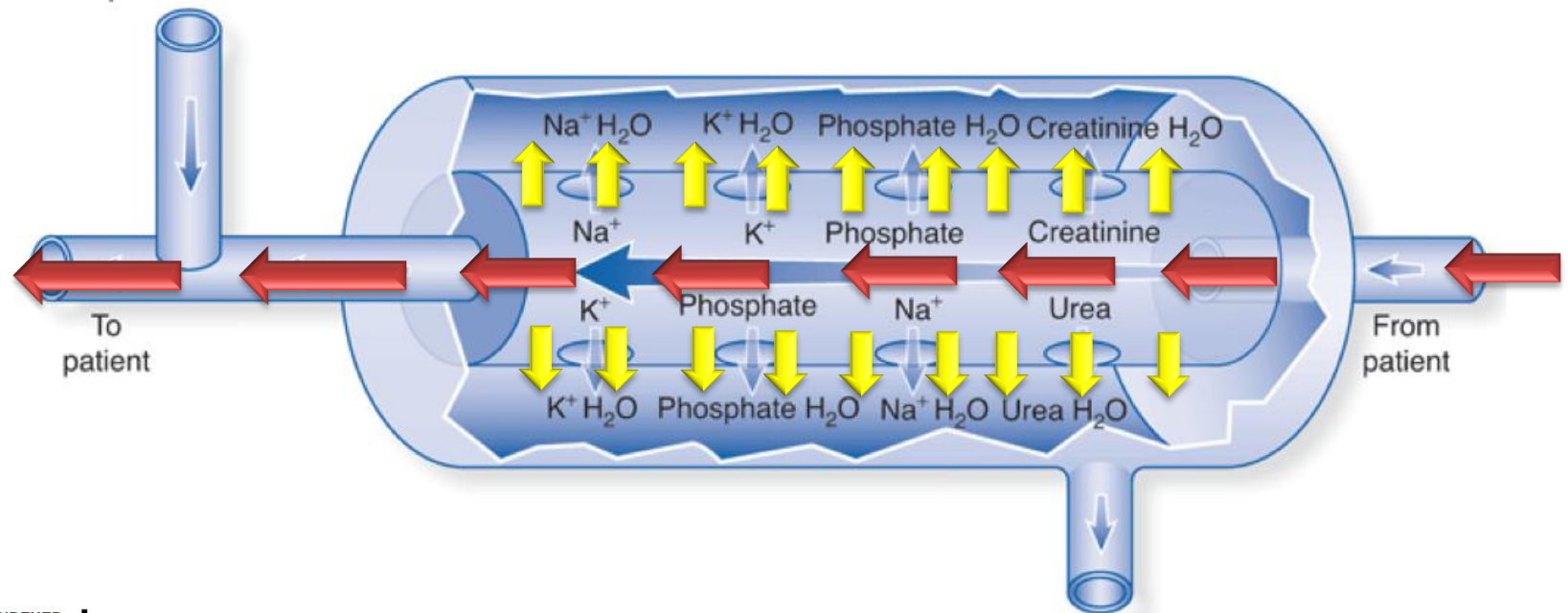
Albumin  
(large  
molecule)

MOLECULAR  
SIZE





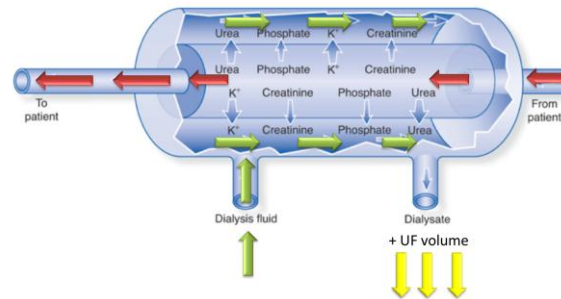
# CVVH (Continuous Veno-Venous Hemofiltration)



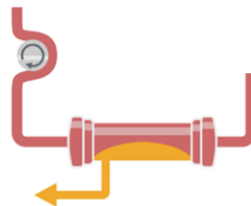
# Factors Influencing Treatment Performance

Neri M et al. Critical Care Nephrology 2018 (Ch 140)

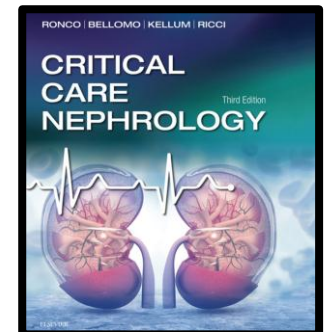
- **Diffusive** clearance in CRRT is not influenced substantially by blood flow rate but instead is determined primarily by **filter surface area** and **dialysate flow rate**.

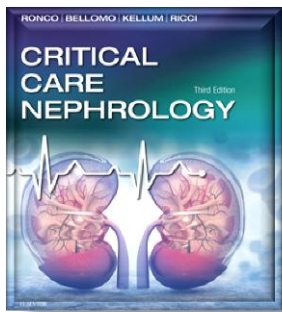


- On the other hand, solute removal efficiency in predilution and postdilution continuous veno-venous **hemofiltration** (CVVH) is influenced substantially by the attainable **blood flow rate**.



- However, blood flow frequently is limited in the acute setting because of **vascular access dysfunction**.





Misurare la **quantità di sangue depurata da un sistema extracorporeo** è un processo complesso e difficile da quantificare (operativamente) →

**DOSE di RRT:** misura di un soluto (marker) rimosso dal paziente.

- Un marker che dovrebbe essere **rappresentativo** di tutti i soluti che devono essere rimossi dal sangue (!)
- Il **volume di distribuzione** equivalente a quello degli altri solute (!)

La misura della DOSE può essere descritta in termini di:

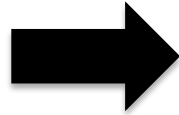
- **Efficienza**
- **Intensità**
- **Efficacia**

# Efficienza

---

L'efficienza è rappresentata dal concetto di **clearance** (**K**):

***volume di sangue depurato da un determinato soluto nell'unità di tempo***

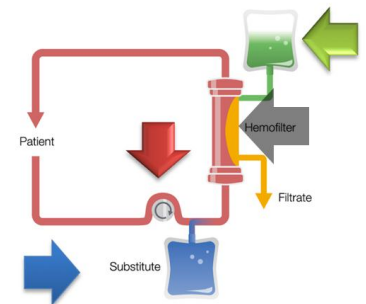
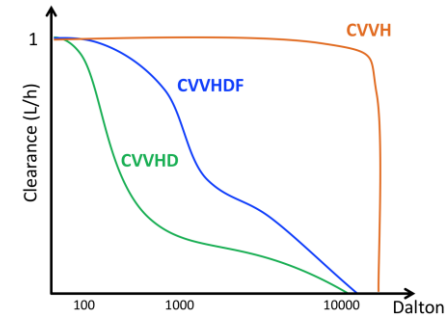
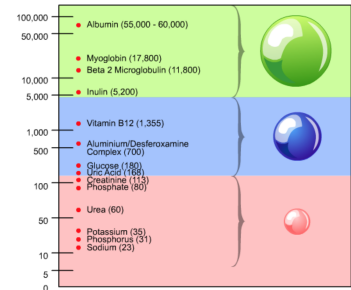
 ml/min; ml/h; L/h; L/24h

**K** non riflette la rimozione assoluta del soluto (MASS TRANSFER) ma piuttosto la sua rimozione «normalizzata» per la concentrazione plasmatica.

Anche se **K** rimane stabile nel tempo, la quota di rimozione del soluto dal sangue potrà **variare** in base a cambiamenti della sua concentrazione sierica.

# Durante RRT ... $K$ dipenderà da:

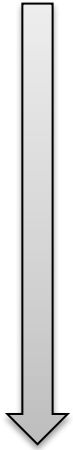
- ❑ Peso molecolare del soluto scelto
- ❑ Modalità di depurazione (diffusione vs. convezione vs. combinata).
- ❑ Caratteristiche funzionali del circuito:
  - **Flusso sangue** ( $Q_B$ )
  - **Flusso di dialisi** ( $Q_D$ )
  - Quota di **ultrafiltrazione** ( $Q_{UF}$ )
  - Tipo e dimensioni del **filtro**



**K**<sub>IHD</sub>

>

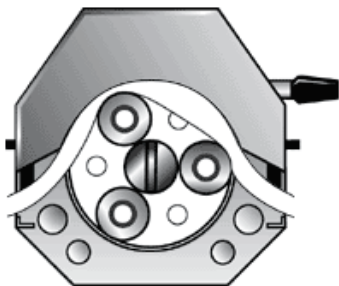
**K**<sub>CRRT</sub>



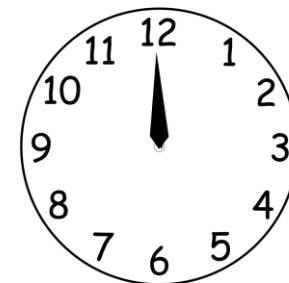
**L'EFFICIENZA  
ISTANTANEA**  
del sistema

|                    | IHD | CRRT |
|--------------------|-----|------|
| K (ml/min)         | 200 | 35   |
| Urea start (mg/dL) | 110 | 110  |
| Urea end (mg/dL)   | 30  | 90   |
|                    |     |      |
|                    |     |      |
|                    |     |      |

Per quanto **K** (**Efficienza, Clearance istantanea**) sia più alta in IHD, la quantità (massa) del soluto totale rimossa con le tecniche continue sarà maggiore.



Il fattore **TEMPO** è determinante!



# Intensità

---

$$\underbrace{K \times t}$$

$$Kt$$

➔ mL/min\*24 h o L/h\*24 H

# Efficacia

---

Effettiva rimozione del soluto che andiamo ad ottenere nel corso di un determinato trattamento

$$Kt/V$$

Clearance di un determinato solute **rispetto alla suo volume di distribuzione.**

$V_{\text{urea}}$ : volume di  $H_2O$  corporea  $\rightarrow$  circa 60% TBW  $\rightarrow$  42 L (in persona di 70 Kg)

# Efficacia

---

$Kt/V$  è un numero adimensionale che corrisponde ad un indicatore di **adeguatezza dialitica**.

$$Kt/V$$

L'UREA viene tipicamente utilizzata come molecola-marker nei pazienti con ESRD per guidare il trattamento e considerando che il  $V_{UREA}$  è c.ca il 60% del TBW un valore di  $Kt/V$  pari a **1.3** è **attualmente raccomandato**.

Per **tecniche intermittenti** (pz con CKD in IHD), la clearance dell'UREA è espressa dal  $Kt/V_{urea}$ .

Comunque, l'applicazione di  $Kt/V$  in pz **critici** con **AKI** non è attualmente stato rigorosamente valutato per alcune **incertezze** relative al  $V$  dell'urea nel pz critico.

E' stato quindi proposto di esprimere la DOSE come  $K$  normalizzata per il peso corporeo come misura operativa del trattamento giornaliero di CRRT → **ml/Kg/h**.

# $Kt/V_{urea}$ . . . (validazione) ?

Fluttuazioni del  
metabolismo

Funzione renale  
residua

$V_{urea}$



Inefficienza del  
trattamento:

- Clotting filtro
- Recircolazione
- $Q_B$  inadeguato
- Malfunzionamento ..

Elevato catabolismo proteico

Bilanci fluidici e loro  
distribuzione

# *Esempio ...*

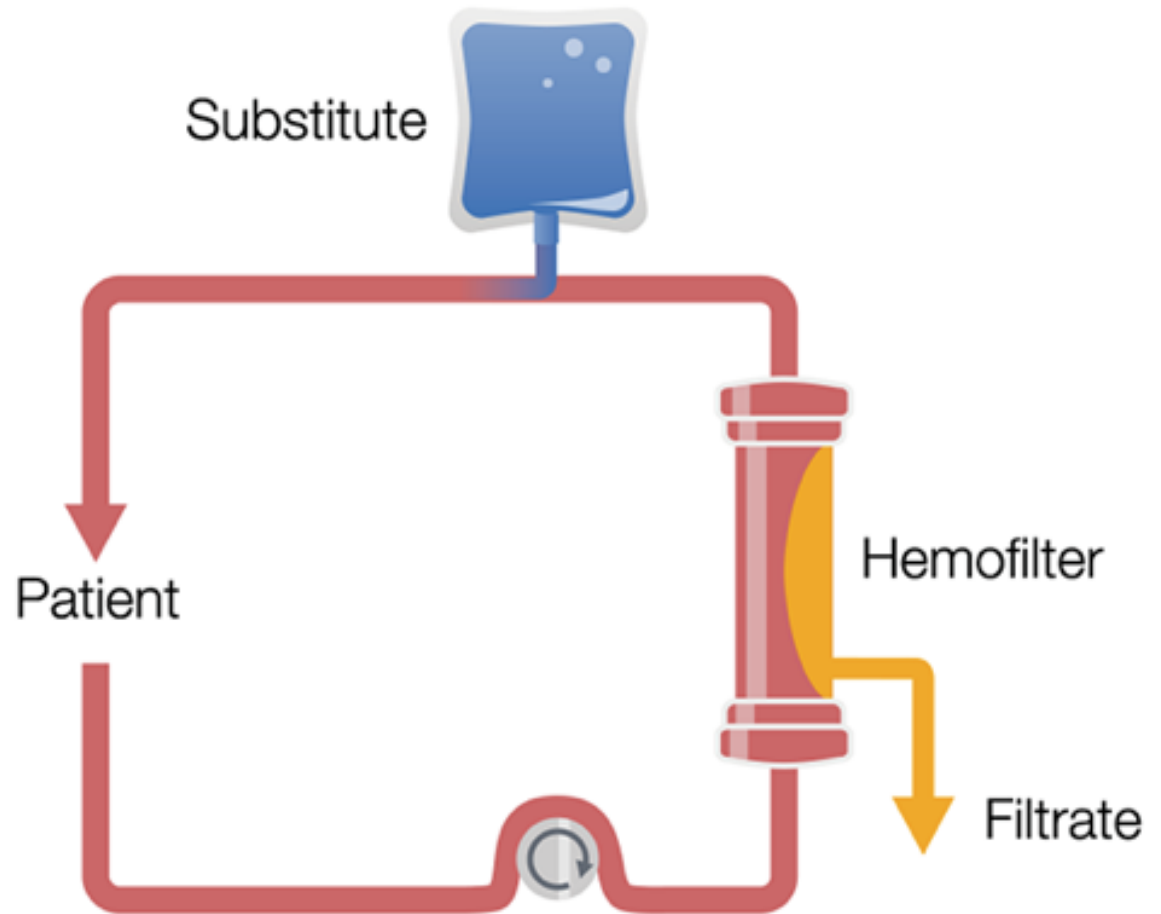


**70 Kg**

**24 h/day**

**CVVH (post)**

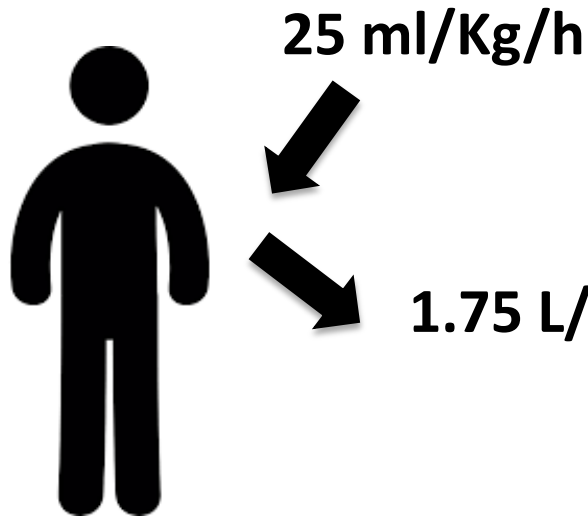
**25 ml/Kg/h**



# Esempio ...

In CVVH **post** l'acqua plasmatica ultrafiltrata drenerà tutta l'urea attraverso la membrane facendo si che ...

$$K_{urea} = Q_{UF}$$

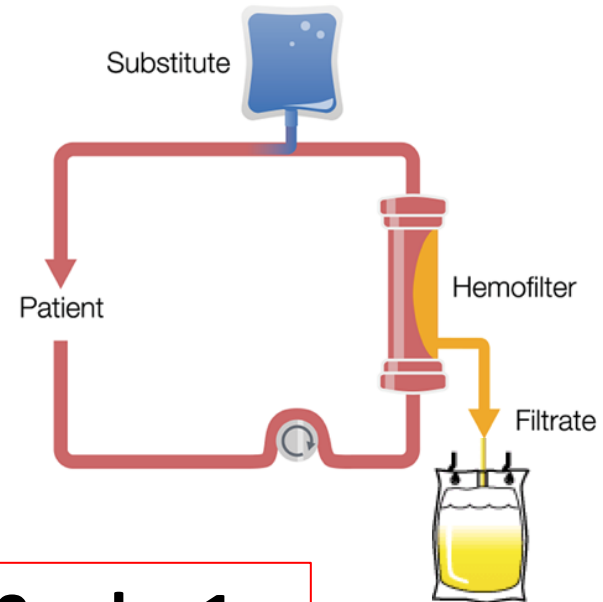


$$1.75 \text{ L/h} = 1.750 \text{ ml/h}$$

$$K_{urea}: 29.1 \text{ mL/min}$$

$$24 \text{ ore} = 1440 \text{ min}$$

$$V_{urea} = 60\% \text{TBW} = 42.000 \text{ ml}$$



$$Kt/V = 29.1 \text{ (ml/min)} * 1400 / 42.000 \text{ ml} = 1$$

## Semplificando, il concetto di dose:

$$K \text{ (ml/h)} = Q_{\text{EFF}}:$$

$Q_{\text{UF}}$  in CVVH (con  $Q_{\text{R}}^{\text{POST}}$ )

$Q_{\text{D}}$  in CVVHD

$Q_{\text{UF}} + Q_{\text{D}}$  in CVVHDF (con  $Q_{\text{R}}^{\text{POST}}$ )

### Nota bene:

- Aggiunta di  $Q_{\text{UF}}^{\text{NET}}$
- [Correzione per  $Q_{\text{R}}^{\text{PRE}}$ ]
- (SC)

$Q_{\text{UF}} \rightarrow$  Ultrafiltration flowrate

$Q_{\text{D}} \rightarrow$  Dialysate flowrate

$Q_{\text{R}} \rightarrow$  Replacement flowrate

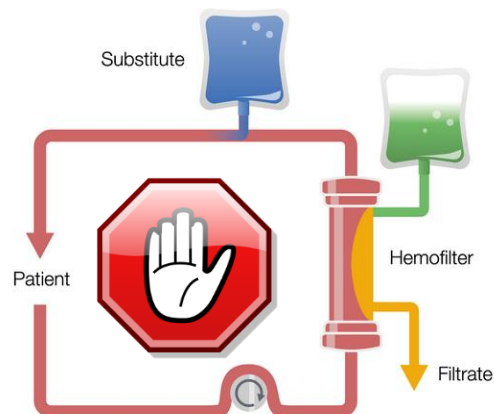


We recommend delivering an effluent volume of 20–25 ml/kg/h for CRRT in AKI (1A). This will usually require a higher prescription of effluent volume. (Not Graded)

in CRRT a treatment **efficiency** equal or higher than **25 ml/Kg/h** is commonly considered adequate.



**“down time”**



**Interruzioni del trattamento nel corso delle 24 h**

**The DOse REsponse Multicentre  
International Collaborative Initiative  
(DO-RE-MI).**

... **under-dialysis should be always avoided** in critically ill patients with AKI, and great attention should be paid in order to minimize the discrepancy between the prescribed and the actually delivered dose.

- Data from **431 patients** in need of RRT
- From 25 centers in 5 countries  
(Spain, Italy, Germany, Portugal, France)

**Downtime** ranged from **8 to 28%** of the total treatment time.

Therefore, if a “**minimal**” dose of **20–25 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>** (according to RENAL and ATN studies .. and KDIGO) should be prescribed, physicians should be advised to **overprescribe the dose of at least 25 %** (targeting **30–35 mL kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>**), in order to limit the down time effect.

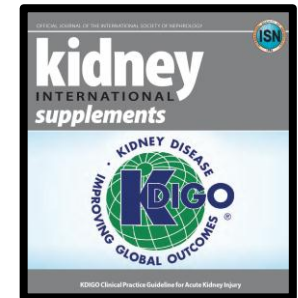
# DOSE

- Volume di sangue depurato da prodotti di scarto e tossine nell'unità di tempo.



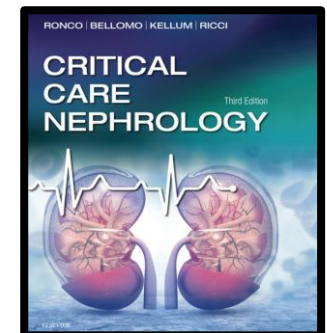
Neri et al. Critical Care (2016) 20:318

- $> 20\text{-}25 \text{ ml/Kg/h}$



KDIGO. Kidney inter Suppl. (2012)2:1–138.

- $30 - 35 \text{ ml/Kg/h}$



Ronco, Bellomo, Kellum, Ricci 2018

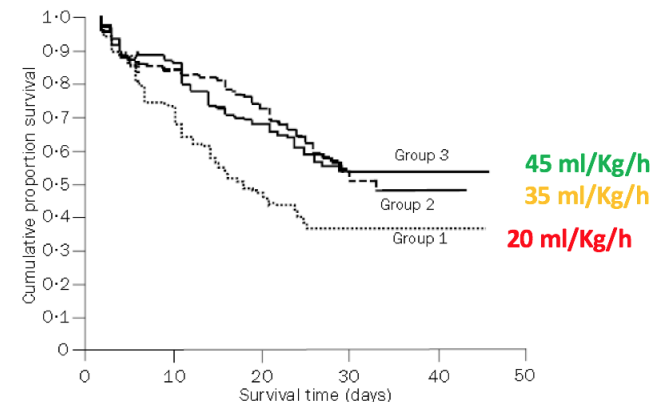
# Treatment evaluation methods: the “Dose” of RRT



Although the most appropriate dose **has not been established** ... large studies have demonstrated a direct relationship between dose and survival, both for intermittent and for continuous RRT

**Effects of different doses in continuous veno-venous haemofiltration on outcomes of acute renal failure: a prospective randomised trial**

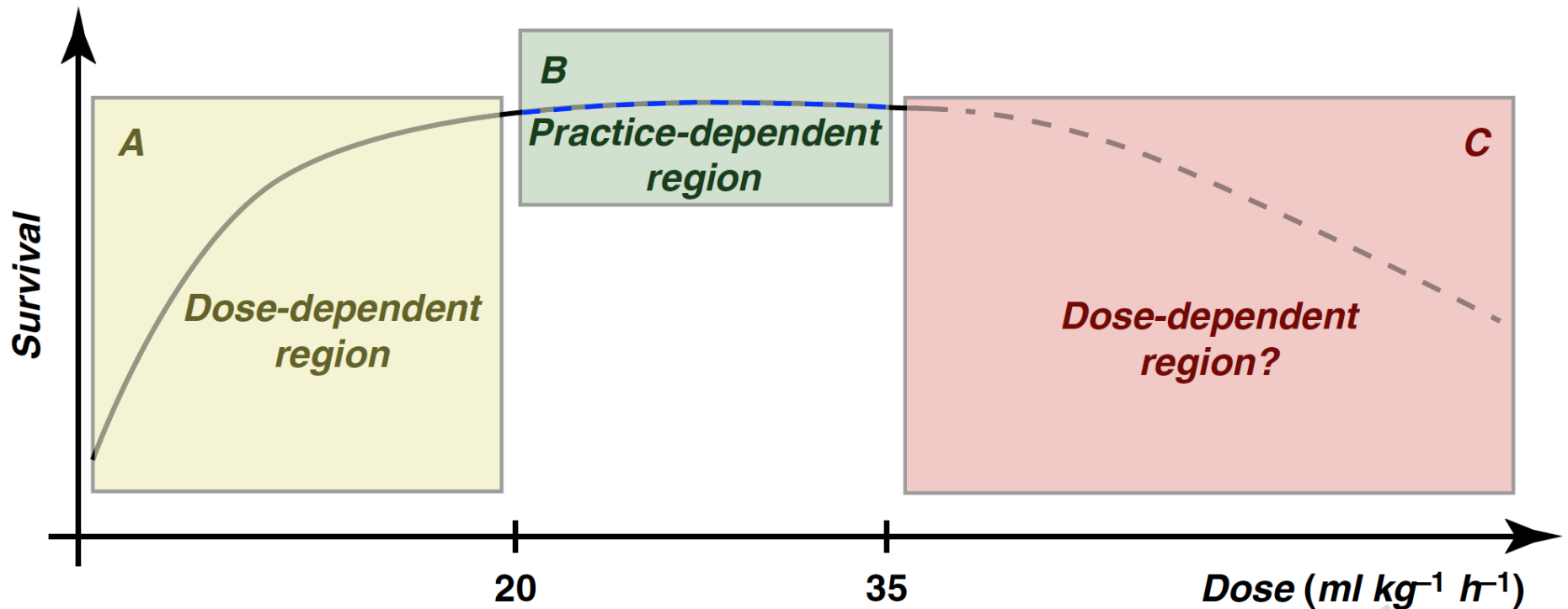
*(Ronco C et al Lancet 2000; 355: 26–30)*



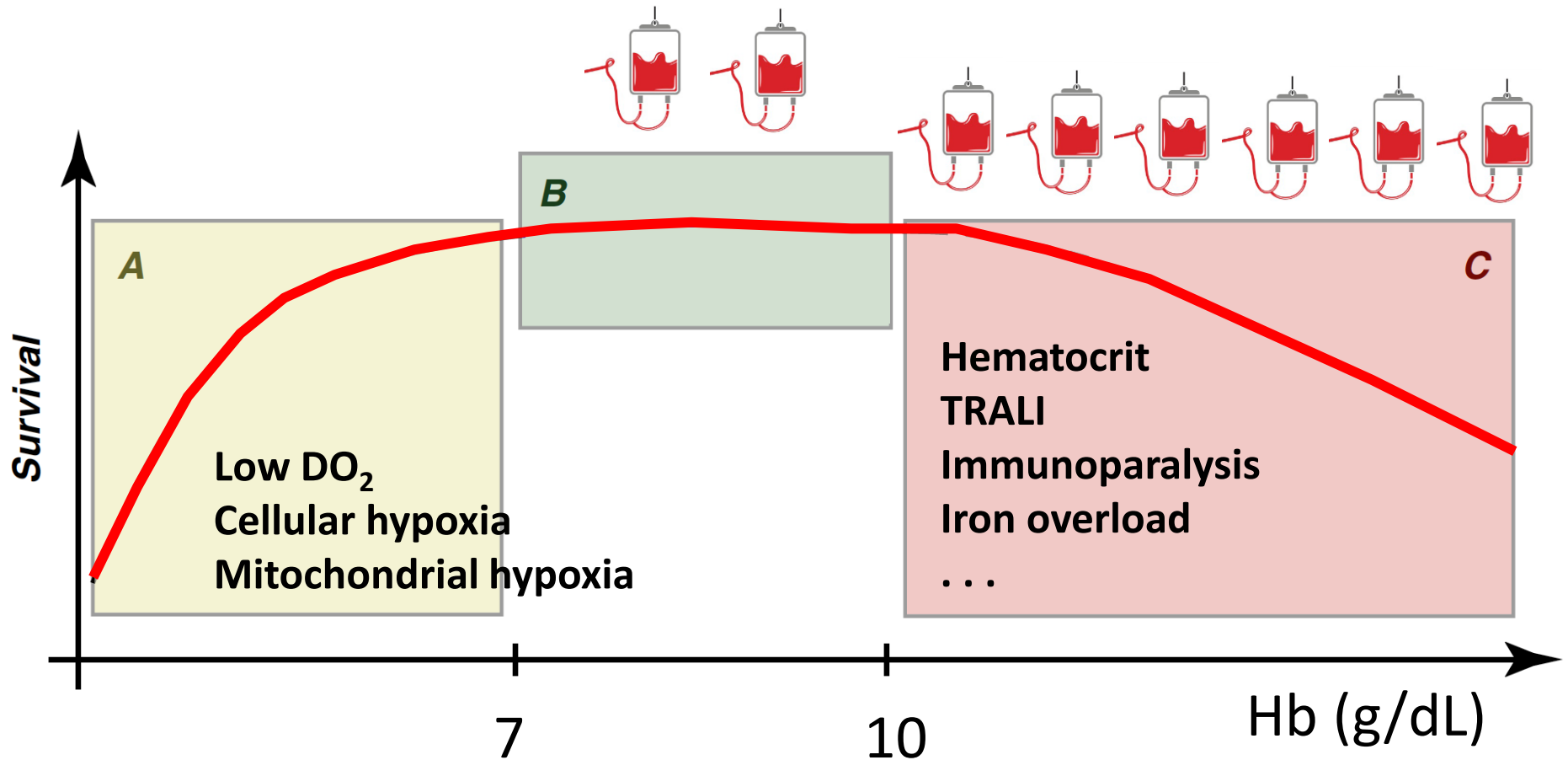
*(Ronco C et al. Lancet (2000) 356:26–30)*

*(Palevsky PM et al. N Engl J Med (2008) 359:7–20) - RENAL*

*(Bellomo R et al. N Engl J Med (2009) 361:1627–38) - ATN*



$$DO_2 = CO \times CaO_2$$



# Role of Technology for the Management of AKI in Critically Ill Patients: From Adoptive Technology to Precision Continuous Renal Replacement Therapy



*Report from the 17th Acute Disease Quality Initiative (ADQI) Consensus Conference. Asiago, Italy, June 10–13, 2016.*

---

## **Question 1: How and when does technology support AKI management?**

In parallel with prescription, the delivery phase of CRRT is today supported by technological improvements in hardware and software that provide guidance in several aspects of the treatment including **down time dose compensation**, calcium replacement during citrate anticoagulation, circuit pressure profiles and appropriate fluid balance.

- Dose renale reale

41 ml/h/kg

75

60

45

30

15

0

13:25

13:55

14:25

h:min

Prescribed Renal Dose

Real Renal Dose

Data

02/05/2017



14:18





**IX edizione**

**CRRT**  
**nursing**

**CORSO CRRT**

---

***CRRT: concetti di  
base 3***

---

**Grazie !**

***Stefano Romagnoli***