Lezione 8 — Bilanci su processi continui, batch e semibatch

Stato stazionario · Bilanci integrali in processi batch · Bilanci integrali su sistemi semibatch o continui · Esempi

Bilanci su processi continui allo stato stazionario (SS)

SS / continuo ⇒ **A = 0** ⇒ equazione di bilancio:

$$I + G = C + O$$

Inoltre, se bilancio specie NON reattive o la massa totale (G = C = 0):

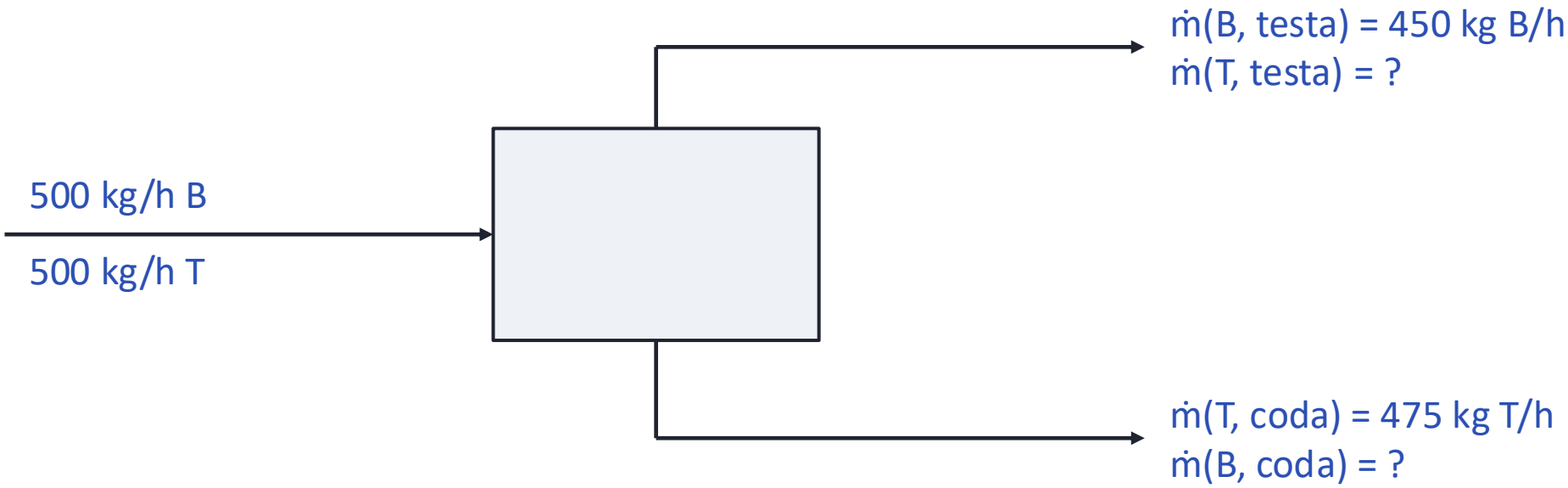
$$I = O$$

"What goes in must come out"

(il mantra!)

Esempio: colonna di distillazione benzene/toluene

ṁ(mix) = 1000 kg/h, 50% benzene (B) + 50% toluene (T) in massa, in input a una colonna di distillazione. Dalla testa esce B (in % maggiore) con ṁ(B, testa) = 450 kg B/h, dalla coda esce T (in % maggiore) con ṁ(T, coda) = 475 kg T/h. Processo continuo/SS → calcolare la portata in massa di T che esce dalla testa e quella di B che esce dalla coda



No reazione chimica, C/SS: A = G = C = 0 → I = O

Colonna B/T: bilanci

Bilancio di massa sul benzene

$$\frac{500\ \text{kg B}}{\text{h}} = \frac{450\ \text{kg B}}{\text{h}} + \dot{m}(\text{B, coda}) \rightarrow \dot{m}(\text{B, coda}) = 500 - 450 = \mathbf{50\ kg\ B/h}$$

Bilancio di massa sul toluene

$$\frac{500\ \text{kg T}}{\text{h}} = \frac{475\ \text{kg T}}{\text{h}} + \dot{m}(\text{T, testa}) \rightarrow \dot{m}(\text{T, testa}) = 500 - 475 = \mathbf{25\ kg\ T/h}$$

Verifica sulla massa totale: I = 1000 kg/h, O = (450 + 25) + (475 + 50) = 1000 kg/h ✓

Bilanci integrali in processi batch

L'equazione generale di bilancio si ricava facilmente:

$$A = O - I = G - C$$

$$\Downarrow$$

$$I + G = C + O$$

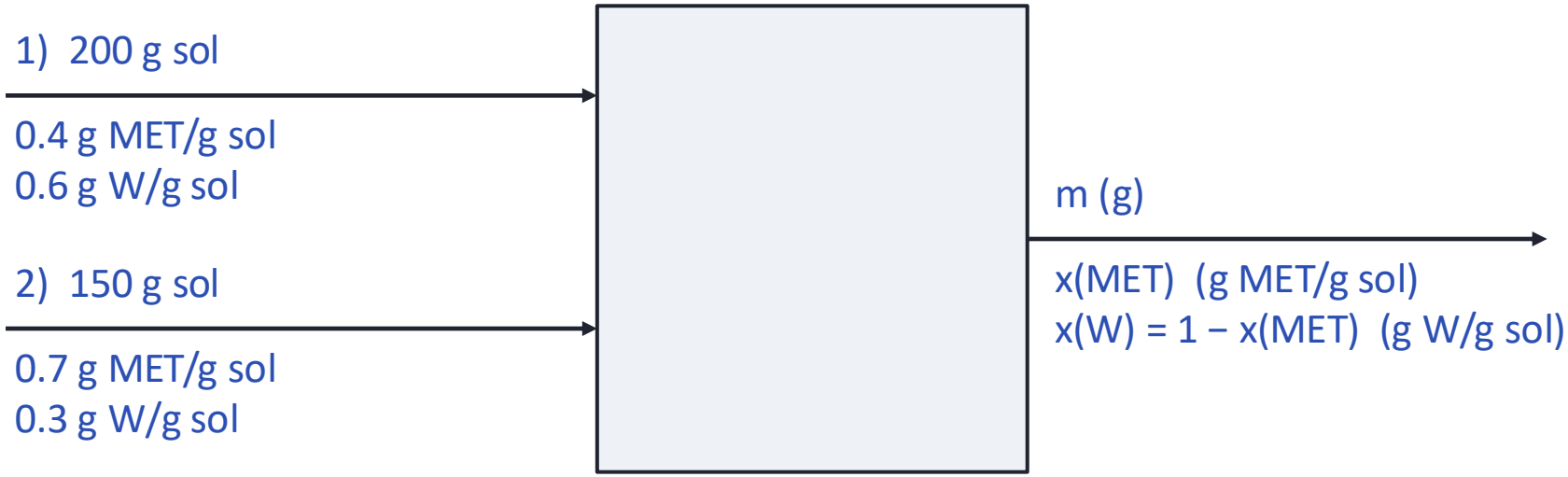
con I = contenuto INIZIALE e O = contenuto FINALE del sistema

Se non c'è reazione: I = O, come nel caso continuo/SS

TRANNE CHE in questo caso i termini sono espressi in MASSA (o quantità) e NON in portate

Esempio: processo di miscelazione (batch)

Due miscele metanolo (MET) / acqua (W): 1) 40.0% in peso MET (60.0% W); 2) 70.0% MET (30.0% W). 200 g di 1) vengono mescolati con 150 g di 2). Massa e composizione del prodotto?



No reazione: G = C = 0 = A → I = O

Miscelazione: bilanci

Bilancio massa totale: 200 g + 150 g = **350 g = m(sol)**

Bilancio sul metanolo:

$$200\ \text{g sol} \times \frac{0.4\ \text{g MET}}{1\ \text{g sol}} + 150\ \text{g sol} \times \frac{0.7\ \text{g MET}}{1\ \text{g sol}} = 350\ \text{g sol} \times \frac{x(\text{MET})\ \text{g MET}}{\text{g sol}}$$

$$x(\text{MET}) = \frac{80 + 105}{350} = \mathbf{0.529}$$

x(W) = 1 − 0.529 = **0.471** → prodotto: 52.9% MET, 47.1% W

m(MET) = 350 × 0.529 = 185 g MET m(W) = 350 × 0.471 = 165 g W

Miscelazione: bilancio sull'acqua per controllo

Facciamo il bilancio su H_2O per controllo: I = O

$$200\ \text{g sol} \times \frac{0.6\ \text{g W}}{1\ \text{g sol}} + 150\ \text{g sol} \times \frac{0.3\ \text{g W}}{1\ \text{g sol}} = 350\ \text{g sol} \times \frac{(1 - 0.529)\ \text{g W}}{\text{g sol}}$$

120 + 45 = 165 g W = 165 g W ✓

Bilanci integrali su sistemi semibatch o continui

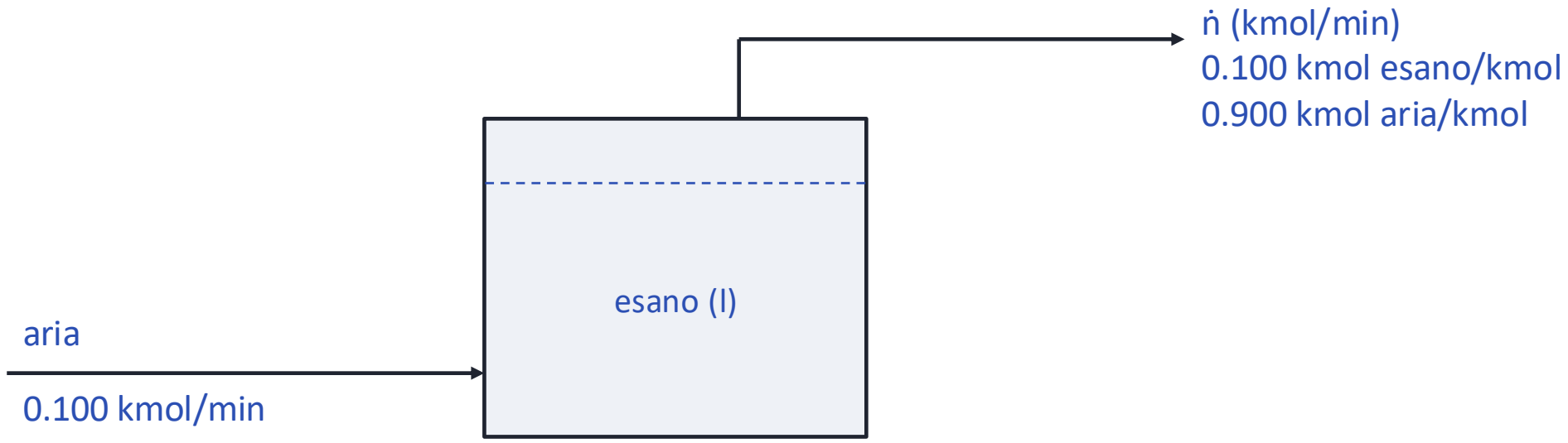
I bilanci integrali si possono anche eseguire su processi semibatch o continui. Procedura:

1. **Scrivere un BILANCIO DIFFERENZIALE sul sistema**
2. **INTEGRARE il bilancio tra due istanti di tempo**

Per sistemi complessi la procedura può essere laboriosa: vediamo un esempio semplice

Esempio: stripping di esano con aria

Dell'aria viene insufflata in un contenitore contenente esano liquido con una portata di 0.100 kmol/min. La corrente gassosa che esce dal contenitore contiene il 10.0% in moli di vapore di esano (STRIPPAGGIO). Se l'aria è insolubile nell'esano liquido, usare un bilancio integrale per calcolare il tempo necessario a vaporizzare (strippare) 10.0 m^3 di liquido (SG = 0.659)



Stripping: 1) bilancio differenziale sull'aria

Sull'aria: nessuna reazione chimica, nessun accumulo di aria nell'esano liquido (insolubile)

A = G = C = 0 → I = O

$$\frac{0.100 \text{ kmol aria}}{1 \text{ min}} = \frac{0.900 \text{ kmol aria}}{1 \text{ kmol tot}} \times \frac{\dot{n} \text{ kmol}}{\text{min}}$$

$\Rightarrow$ **$\dot{n}$ = 0.100 / 0.900 = 0.111 kmol/min**

Stripping: 2) bilancio integrale sull'esano

Da $t_1 = 0$ a $t_2 = tf$ (incognita da determinare). Equazione di bilancio:

INPUT = 0 (l'esano è già tutto dentro)
OUTPUT ✓ GENERAZIONE = CONSUMO = 0 (no reazione chimica)

$I + G - O - C = A \rightarrow$

$$\mathbf{A = -O \quad \Leftrightarrow \quad O = -A}$$

L'accumulo A deve essere NEGATIVO perché l'esano esce: A = variazione del numero di moli di esano nel contenitore da t = 0 a tf

Devono evaporare 10.0 m^3 di esano con SG = 0.659 $\Rightarrow$ d(esano) = 659 kg/m^3

$$A = \Delta n(\text{esano}) = -\ 10.0\ m^3 \times \frac{659\ kg}{1\ m^3} \times \frac{1\ kmol}{86.2\ kg} = \mathbf{-76.45\ kmol\ esano}$$

Stripping: il tempo necessario

Il termine di OUTPUT è la velocità con cui l'esano lascia il contenitore (la sua portata) moltiplicata per il tempo totale $\Delta t = tf - 0 = tf$

$$O = 0.100 \times \dot{n} \times tf = (0.100 \times 0.1111)\ \text{kmol esano/min} \times tf = 0.01111\ \text{kmol esano/min} \times tf$$

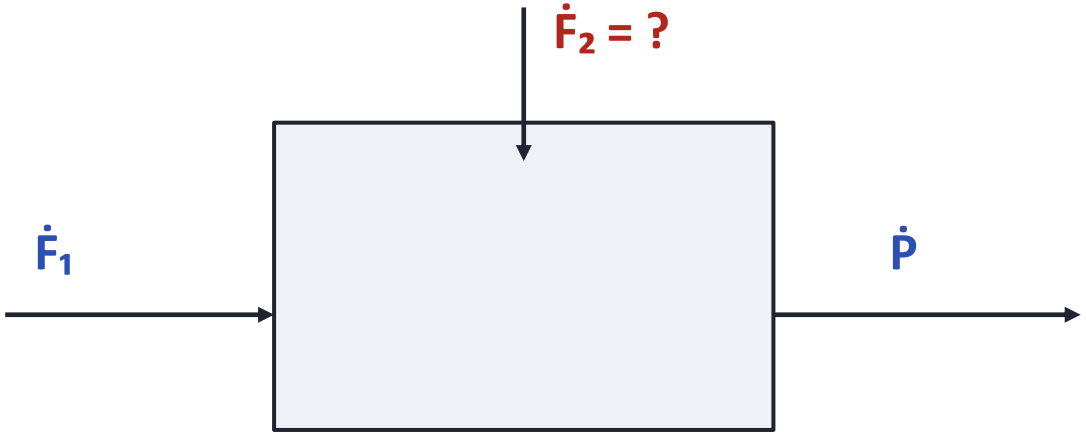
$$\mathbf{A = -O \Rightarrow 76.45\ kmol\ esano = 0.01111\ kmol\ esano/min \times tf}$$

$$tf = \frac{76.45}{0.01111} = 6880\ \text{min} \rightarrow (3\ \text{CS}) \quad \mathbf{6.88 \times 10^3\ min}$$

≈ 115 h ≈ 4.8 giorni

Attenzione: usando ṅ arrotondato a 0.0111 si ottiene 6887 min: tenete una cifra in più nei passaggi intermedi

Ancora esempi: serbatoio con due alimentazioni



in un t = 3 h:
$A(H_2O)$ = 6000 kg
$\dot{F}_1$ = cost = 10 000 kg/h
$\dot{P}$ = cost = 12 000 kg/h

Eq. di bilancio (no reazione): $I + G - C - O = A \rightarrow$ **$A = I - O$**

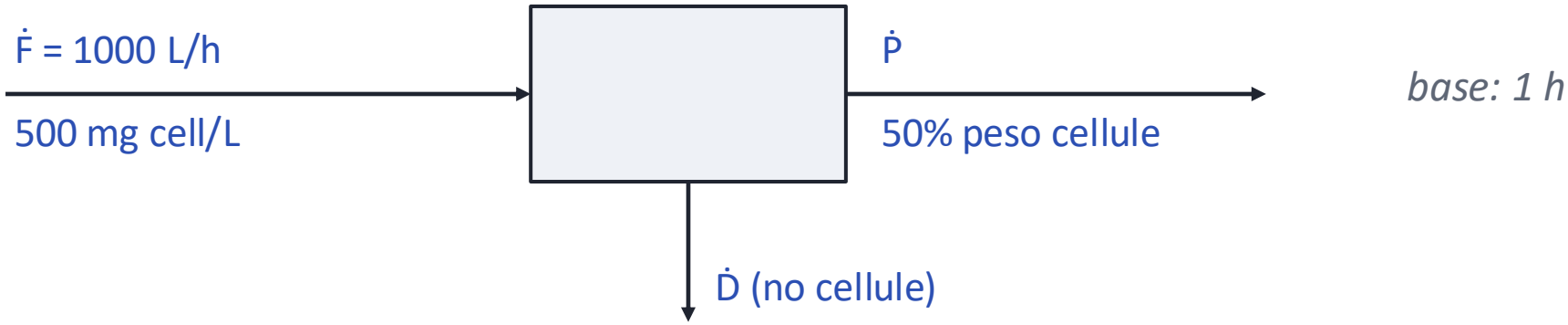
Bilancio integrale sulla massa di H_2O. Ricordo che $\dot{m} = m / t \Rightarrow m = \dot{m}\, t$

$$6000 \text{ kg } H_2O = \dot{F}_1\, t + \dot{F}_2\, t - \dot{P}\, t = 10\,000 \times 3 + \dot{F}_2 \times 3 - 12\,000 \times 3$$

$$6000 + 6000 = 3\,\dot{F}_2 \rightarrow \mathbf{\dot{F}_2 = 4000 \text{ kg } H_2O/h}$$

Ancora esempi: centrifuga per sospensione cellulare

Una sospensione cellulare viene alimentata in continuo a una centrifuga con Ḟ = 1000 L/h. La sospensione contiene 500 mg cellule/L. La centrifuga produce una corrente concentrata Ṗ contenente il 50% in massa di cellule e una corrente chiarificata Ḋ, assunta priva di cellule. C/SS. Qual è la portata in massa di Ṗ?



base: 1 h

Bilancio sulle cellule: G = 0, C = 0, A = 0 → I = O

$$1000\ \text{L} \times \frac{500\ \text{mg}}{1\ \text{L}} \times \frac{1\ \text{g}}{1000\ \text{mg}} = \text{P (g)} \times \frac{0.5\ \text{g cell}}{1\ \text{g}} \rightarrow \text{P} = \frac{500}{0.5} = 1000\ \text{g} \rightarrow \mathbf{\dot{P} = 1000\ g/h}$$