

**M045 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO PROFESSIONALE****CORSO DI ORDINAMENTO****Indirizzo: TECNICO DELLE INDUSTRIE ELETTRICHE****Tema di: SISTEMI, AUTOMAZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLA PRODUZIONE**

Si desidera automatizzare il processo per la miscelazione di 3 liquidi. Il sistema prevede la presenza di 3 condotte di carico separate. La condotta del terzo liquido contiene un trasduttore di portata che fornisce un impulso per ogni litro transitato. I primi 2 liquidi vengono versati nella vasca simultaneamente aprendo le valvole per un tempo  $t_1$ ; successivamente viene inserito anche il terzo liquido. A conclusione del riempimento della vasca, un motore centrifuga i liquidi per un tempo  $t$  prima che la soluzione venga immessa in un altro serbatoio, il cui modello matematico è

$$G_s(s) = \frac{5}{(1+12,5s)}, \text{ allo scopo di mantenere costante la temperatura.}$$

Il candidato, sapendo che:

- la funzione di trasferimento  $G_C$  del sistema di comando presente nel sistema di controllo ad anello chiuso è  $G_C(s) = \frac{4}{(1+1,25s)}$ ;
  - il gruppo trasduttore-circuito di condizionamento presenta un guadagno pari a  $0,2V/^\circ C$  e un polo con una costante di tempo  $\tau = 0,125s$ ;
  - il sistema di controllo prevede inizialmente la presenza di un regolatore di tipo On/Off, fatte eventuali ipotesi aggiuntive,
1. descriva il sistema di controllo, rappresentandolo tramite uno schema a blocchi, e illustri le differenze nel caso in cui il regolatore On/Off venga sostituito da uno di tipo proporzionale;
  2. calcoli la funzione di trasferimento del sistema di controllo e ne analizzi la stabilità se la costante del regolatore vale  $K_p = 2,5$ ;
  3. determini il valore della temperatura se la tensione riportata in ingresso dal blocco di reazione vale  $4,8V$ ;

Infine descriva una possibile configurazione del sistema di riempimento, indicando i dispositivi necessari e illustri una soluzione dell'automatismo, usando un linguaggio a sua scelta.

---

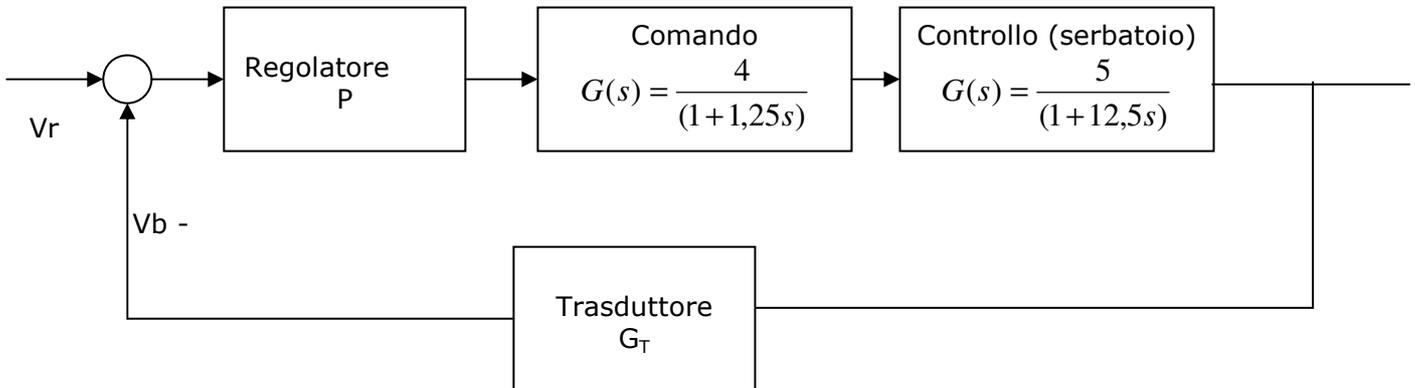
Durata massima della prova: 6 ore.

È consentito soltanto l'uso di manuali tecnici e di calcolatrici non programmabili.

Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

## POSSIBILE SOLUZIONE

Innanzitutto disegniamo lo schema a blocchi del sistema.



Cominciamo a calcolare la f.d.t. del trasduttore conoscendo il guadagno statico e un polo con costante di tempo 0,125s.

Il sistema trasduttore è ovviamente di I° ordine e la sua f.d.t. vale:

$$G_T(s) = \frac{K}{1 + s\tau} = \frac{0,2}{1 + 0,125s}$$

Considerato che all'ingresso dal blocco trasduttore di reazione viene riportata una tensione di 4,8V si può calcolare subito la temperatura di uscita.

$$G_T(s) = \frac{Vu(s)}{Vi(s)} \quad Vi(s) = U(s) = \frac{Vu(s)}{G_T(s)} = \frac{4,8}{0,2} = 24^\circ C$$

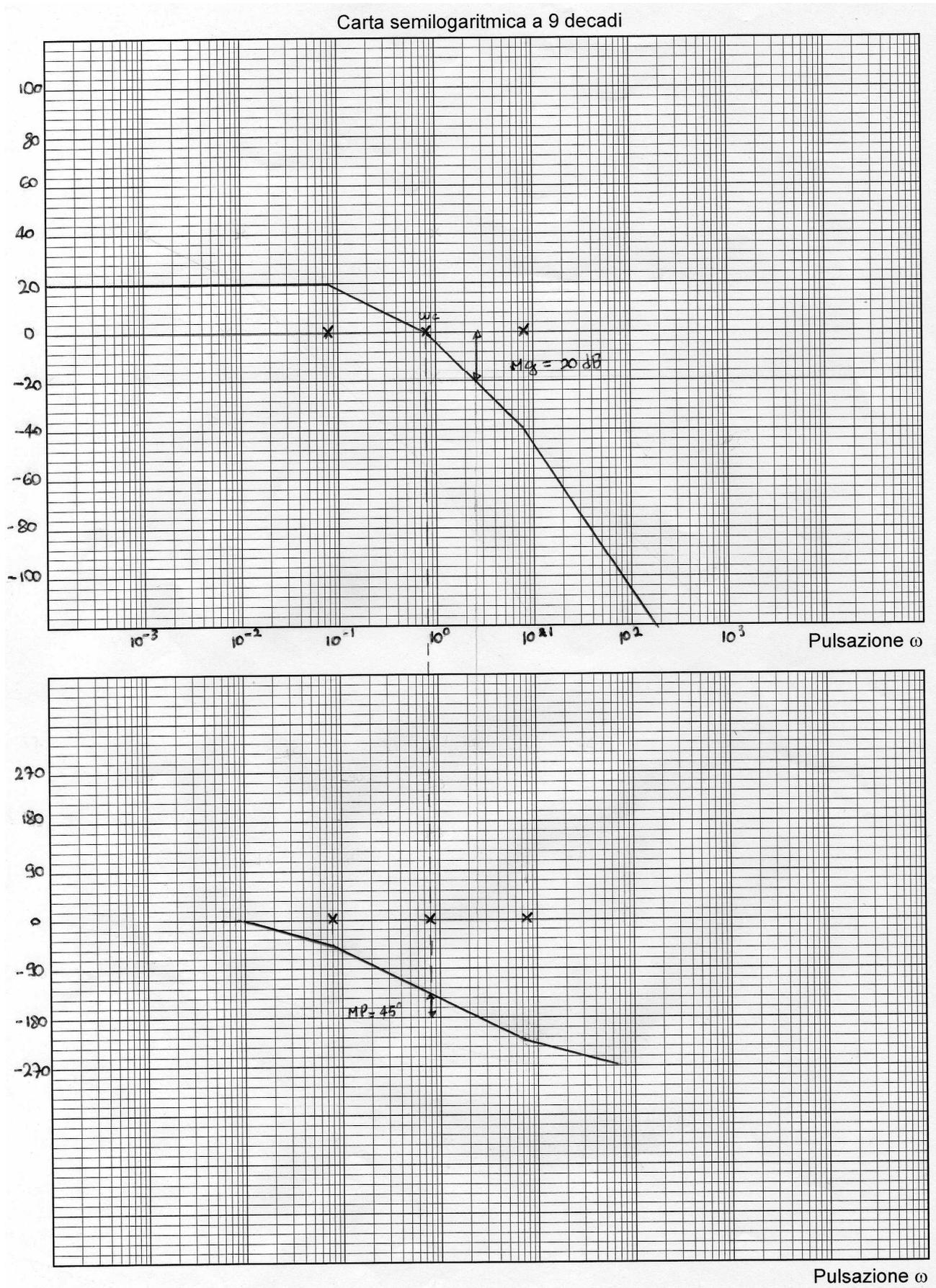
Calcoliamo ora la f.d.t. della catena aperta per poter costruire i diagrammi di Bode e studiare la stabilità del sistema.

$$G_{AP}(s) = G_{Andata}(s) \cdot H(s) = 2,5 \cdot \frac{4}{1 + 1,25s} \cdot \frac{5}{1 + 12,5s} \cdot \frac{0,2}{1 + 0,125s} = \frac{10}{(1 + 1,25s) \cdot (1 + 12,5s) \cdot (1 + 0,125s)}$$

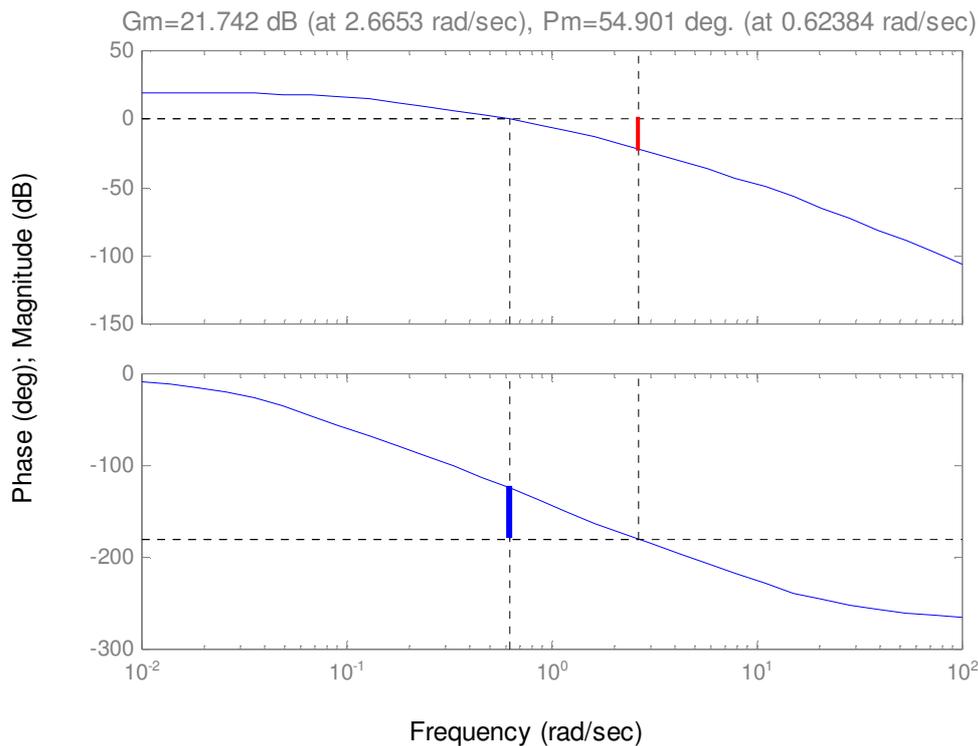
Si può notare che il sistema è di terzo ordine in quanto sono presenti 3 poli. Possiamo ora ricavare il valore dei poli per tracciare il diagramma di Bode.

$$P1 = \frac{1}{1,25} = 0,8 \quad P2 = \frac{1}{12,5} = 0,08 \quad P3 = \frac{1}{0,125} = 8$$

Possiamo ora disegnare i diagrammi di Bode e i margini di fase e di guadagno



## Bode Diagrams

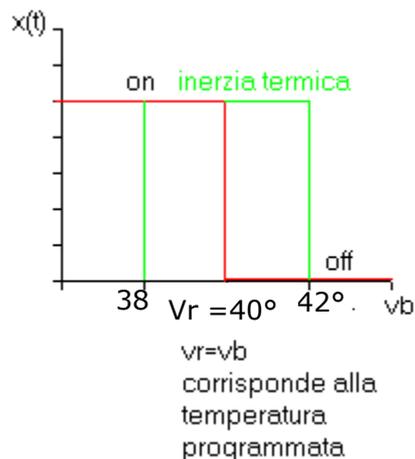


Considerato che il Margine di guadagno risulta di 21,7dB e il Margine di fase di 54° si può affermare che il sistema è stabile considerato che i valori di riferimento affinché un sistema si consideri stabile sono:

$$Mf > 45^\circ \quad Mg > 15$$

Poniamo ora il caso che il *regolatore sia di tipo ON – OFF*.

Questo regolatore viene utilizzato quando non è richiesta una grande precisione. Viene realizzato fornendo potenza termica con intervalli ON (tutta potenza) e OFF (nessuna potenza) in modo da garantire la temperatura desiderata. Può assumere quindi solo 2 posizioni aperto o chiuso. Nel caso del sistema in esame che controlla la temperatura in uscita del liquido, la temperatura fornita dal trasduttore (segnale vb) viene confrontata con un valore di riferimento; l'errore tra i due segnali stabilisce con il suo segno quale delle due posizioni (ON – OFF) deve assumere il dispositivo di erogazione di potenza. Per evitare che anche una minima variazione di temperatura comporti il passaggio da uno stato all'altro, con conseguente usura del dispositivo, il regolatore dispone di una zona detta "differenziale" entro la quale sono possibili variazioni della grandezza controllata senza che venga azionato l'attuatore. E' per effetto dell'inerzia termica che il segnale vb oscilla intorno alla posizione di equilibrio di una certa ampiezza dovuta al fatto che nel momento in cui il motore si ferma il liquido miscelato risulta ancora caldo per un certo periodo e viceversa quando il motore inizia a miscelare.



Se la temperatura scende sotto la soglia inferiore (es. 38°) il regolatore abiliterà il dispositivo che fornisce potenza fino a quando la temperatura non avrà raggiunto la soglia superiore (42°). L'intervallo di temperatura compreso fra le due soglie costituisce il differenziale (isteresi).

Valori molto piccoli di questo parametro causano una eccessiva frequenza di intervento del dispositivo che fornisce potenza, mentre valori troppo grandi comportano un controllo di temperatura non accettabile perché la temperatura non sarà mai costante in quanto subisce variazioni rilevanti tra le due soglie.

Se si utilizza un Regolatore Proporzionale questi, invece, agisce sul sistema non appena il valore della variabile controllata tende a discostarsi dal valore di riferimento, con un'azione proporzionale all'entità dell'errore. Il regolatore P fornisce quindi un certo segnale proporzionale all'errore  $e(t)$ . L'uscita  $X(t)$  del regolatore è pari a  $x(t) = K_p \cdot e(t)$

Dove  $k_p$  è un parametro costante caratteristico del regolatore e coincide con la funzione di trasferimento del regolatore stesso. Inizialmente l'uscita (la temperatura del liquido) è stabile su un valore di riferimento (set point) .

Se sul sistema interviene un disturbo improvviso e di durata limitata possiamo dire che il regolatore esplica la sua funzione (es. fa girare più velocemente il motore che centrifuga) per poi tornare, a perturbazione cessata, all'iniziale condizione di equilibrio (temperatura desiderata).

Se sul sistema interviene un disturbo costante l'uscita del sistema tenda ad allontanarsi dal valore desiderato e il regolatore si dimostra incapace ad annullare completamente la deviazione tra grandezza regolata e valore prefissato (questa differenza verrà detta *Offset*). Infatti se il regolatore tentasse di eliminare lo scostamento facendo aumentare la velocità di rotazione del motore fino a raggiungere la temperatura desiderata del liquido, subito dopo il motore ridurrebbe la velocità portandosi a quella che aveva prima del disturbo (costante) e che manteneva la temperatura del liquido alla temperatura desiderata. Ecco allora che il regolatore adotta una soluzione di compromesso, facendo girare il motore ad una velocità superiore a quella necessaria per mantenere la temperatura desiderata del liquido in assenza di disturbi di lunga durata, ammettendo così uno scostamento che consente una maggiore velocità del motore.

Poiché il regolatore proporzionale fornisce un segnale di uscita direttamente proporzionale all'entità dell'errore (suo ingresso) la sua funzione di trasferimento si riduce ad una semplice costante  $K_p$ . Aumentando il valore di  $K_p$  si riduce l'errore di offset.

Lo svantaggio è che l'aumento di  $K_p$  può portare all'instabilità del sistema perché il diagramma della  $G_{ap}$  trasla verso l'alto, come si può osservare sul diagramma di Bode.

Spostando verso l'alto il diagramma di Bode aumenta la posizione di crossover che ha effetti favorevoli sull'errore statico (diminuisce) e sulla larghezza di banda (ossia sulla velocità di risposta del sistema), ma ha effetti sfavorevoli sulla stabilità (riduzione dei margini di fase e guadagno).

Per progettare un regolatore proporzionale si sceglie un valore di compromesso di  $k_p$  in modo da avere il sistema con buone caratteristiche di velocità e comunque stabile.

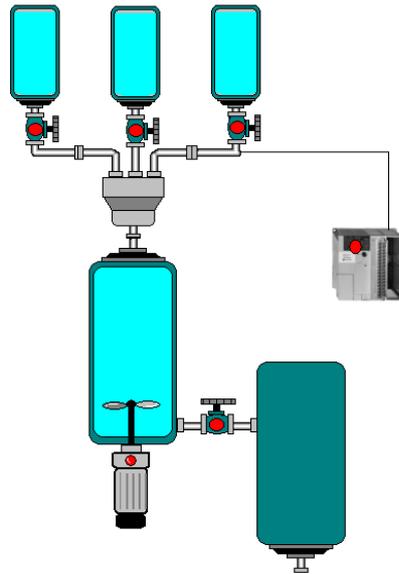
## Automatismo del sistema Miscelatore di liquidi con PLC

Si desidera automatizzare il processo per la miscelazione di 3 liquidi. Il sistema prevede la presenza di 3 condotte di carico separate.

I primi 2 liquidi vengono versati nella vasca simultaneamente aprendo le valvole per un tempo T1; successivamente viene inserito anche il terzo liquido.

La condotta del terzo liquido contiene un trasduttore di portata che fornisce un impulso per ogni litro transitato.

A conclusione del riempimento della vasca, un motore centrifuga i liquidi per un tempo T2 prima che la soluzione venga immessa in un altro serbatoio.



Si può supporre che:

1. il serbatoio C versa 10 litri
2. i serbatoi A B C devono avere un sensore di livello minimo
3. la vasca che raccoglie i liquidi deve avere un sensore di livello minimo per la condizione di vasca vuota e uno di livello massimo
4. il serbatoio per la raccolta finale è delle stesse dimensioni della vasca di raccolta e contiene anch'esso un sensore di livello minimo per la condizione di vasca vuota e uno di livello massimo

Si predispone la tabella delle assegnazioni degli ingressi e delle uscite.

INGRESSI			USCITE	
FUNZIONE	STATO LOGICO	INDIRIZZO	FUNZIONE	INDIRIZZO
S1 Avvio	N.O. - 0	I0.0	Elettrovalvola 1	Q0.0
S2 Stop	N.C. - 1	I0.1	Elettrovalvola 2	Q0.1
Trasduttore di portata	N.O. - 0	I0.2	Elettrovalvola 3	Q0.2
Sensore di livello serb.A	N.O. - 0	I0.3	Elettrovalvola 4	Q0.3
Sensore di livello serb.B	N.O. - 0	I0.4	Motore	Q0.4
Sensore di livello serb.C	N.O. - 0	I0.5		
Sensore di livello vasca mx	N.O. - 0	I0.6		
Sensore di livello vasca mi	N.O. - 0	I0.7		
Sens. di livello serb.D mx	N.O. - 0	I1.0		
Sens. di livello serb.D mi	N.O. - 0	I1.1		

## **LISTA ISTRUZIONI- (AWL)**

### **Accertamento presenza liquidi**

LD I0.1  
A I0.3  
A I0.4  
A I0.5  
= M0.0

### **Apertura delle prime due elettrovalvole per un tempo T1 di 10s**

LD M0.0  
LD I0.0  
O Q0.0  
ALD  
LPS  
AN Q0.2  
= Q0.0  
= Q0.1  
LPP  
TON T37, 100

### **Apertura terza elettrovalvola dopo il tempo T1 e chiusura dopo la rilevazione di 10 litri versati**

LD M0.0  
LD T37  
O Q0.2  
ALD  
AN C0  
= Q0.2

### **Conteggio litri versati dalla terza condotta**

LD M0.0  
A Q0.2  
A I0.2  
LD M0.1  
CTU C0, 10

### **Rilevazione vasca di raccolta vuota/piena**

LD I0.7  
A I0.6  
= M0.1

### **Centrifuga motore per un tempo T2**

LD M0.1  
LPS  
AN T38  
= Q0.4  
LPP  
TON T38, 100

### **Riempimento serbatoio finale a miscelazione conclusa.**

LD T38  
LD I1.1  
O Q0.3  
ALD  
AN I1.0  
= Q0.3

## SCHEMA KOP

