POLITECNICO DI TORINO

Esami di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere
I sessione – Anno 2002

Ramo INFORMATICO – Tema N. 2

Si consideri il sistema termico riportato in Figura 1, costituito da tre ambienti considerabili come corpi omogenei. Siano C_1, C_2 le capacità termiche (espresse in J/K) degli ambienti 1 e 2, rispettivamente, e θ_1, θ_2 le loro temperature (in K). La temperatura θ_d dell'ambiente centrale "*d*" è mantenuta costante e pari ad un valore $\bar{\theta}_d$ da un apposito termostato, mentre la temperatura θ_e dell'ambiente esterno "*e*" può essere assunta costante e pari ad un valore $\bar{\theta}_e$.

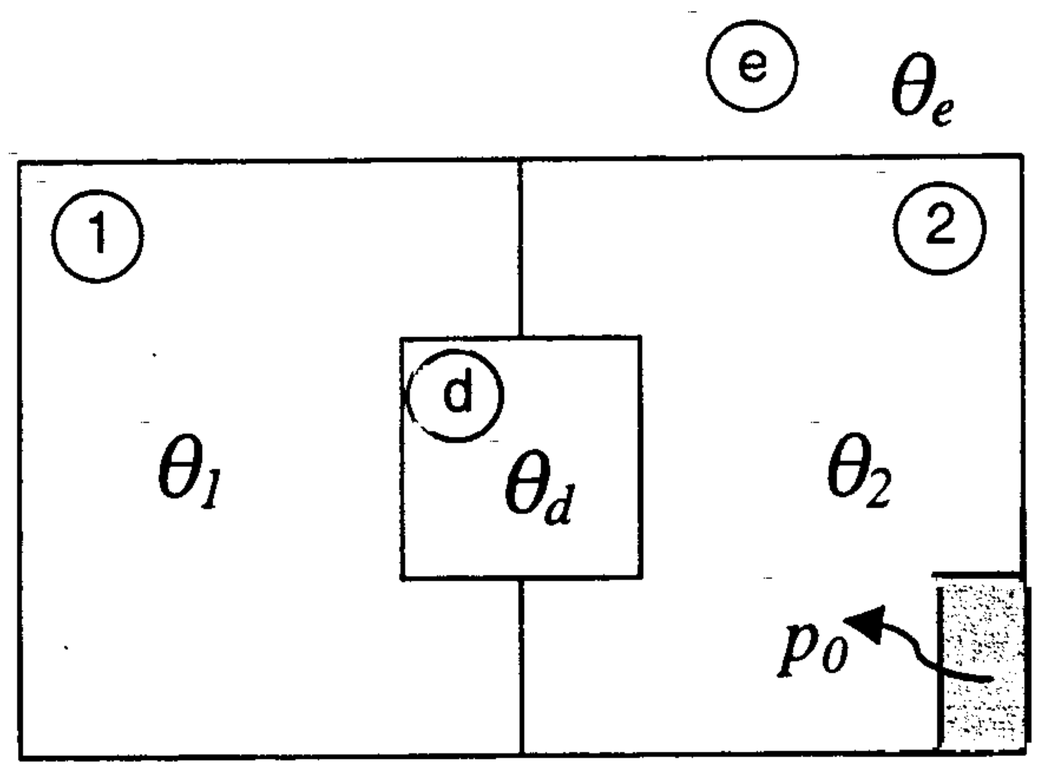


Figura 1

All'ambiente 2 è applicata una portata di calore p_0 (espressa in W), definita dalla legge:

$$p_0 = K_A V_A$$

in cui V_A è una tensione disponibile come comando.
L'uscita del sistema, ossia la variabile da controllare, è la temperatura θ_1 del primo ambiente.
Siano indicate con K_{ij} le conduttanze termiche (espresse in W/K) fra le coppie *i*, *j* di ambienti in contatto (ad esempio: K_{12} è la conduttanza termica fra gli ambienti 1 e 2, mentre K_{1e} è la conduttanza termica fra l'ambiente 1 e l'ambiente esterno).
I valori numerici delle conduttanze termiche e delle capacità degli ambienti (da intendersi espressi nelle rispettive unità SI sopra indicate) sono:

$$K_{1d}=1,\ K_{1e}=1,\ K_{12}=4,\ K_{2d}=4,\ K_{2e}=5,\ C_1=2,\ C_2=1.$$

Si consideri inoltre K_A = 1 W/V e si assuma, per semplicità, che il trasduttore utilizzato per misurare θ_1 abbia funzione di trasferimento ridotta ad una costante di proporzionalità K_t = 1.

A) Determinare, *in forma* sia *letterale* sia *numerica*, il modello in variabili di stato del sistema in oggetto, considerando come variabili di stato le temperature θ_1, θ_2, come ingressi la tensione di comando V_A e le temperature di disturbo θ_d e θ_e e come uscita la temperatura θ_1 del primo ambiente.

B) Determinare, *in forma* sia *letterale* sia *numerica*, le funzioni di trasferimento $F(s) = \dfrac{\theta_1(s)}{V_A(s)}$,

$$F_d(s) = \frac{\theta_1(s)}{\theta_d(s)} \text{ e } F_e(s) = \frac{\theta_1(s)}{\theta_e(s)}.$$

C) Discutere la possibilità di garantire l'asintotica stabilità del sistema ad anello chiuso (con retroazione negativa unitaria dell'uscita θ_1) con un compensatore in cascata della forma $\dfrac{K_c}{s}$, ove il guadagno K_c può assumere qualsiasi valore reale, compreso tra $-\infty$ e $+\infty$.

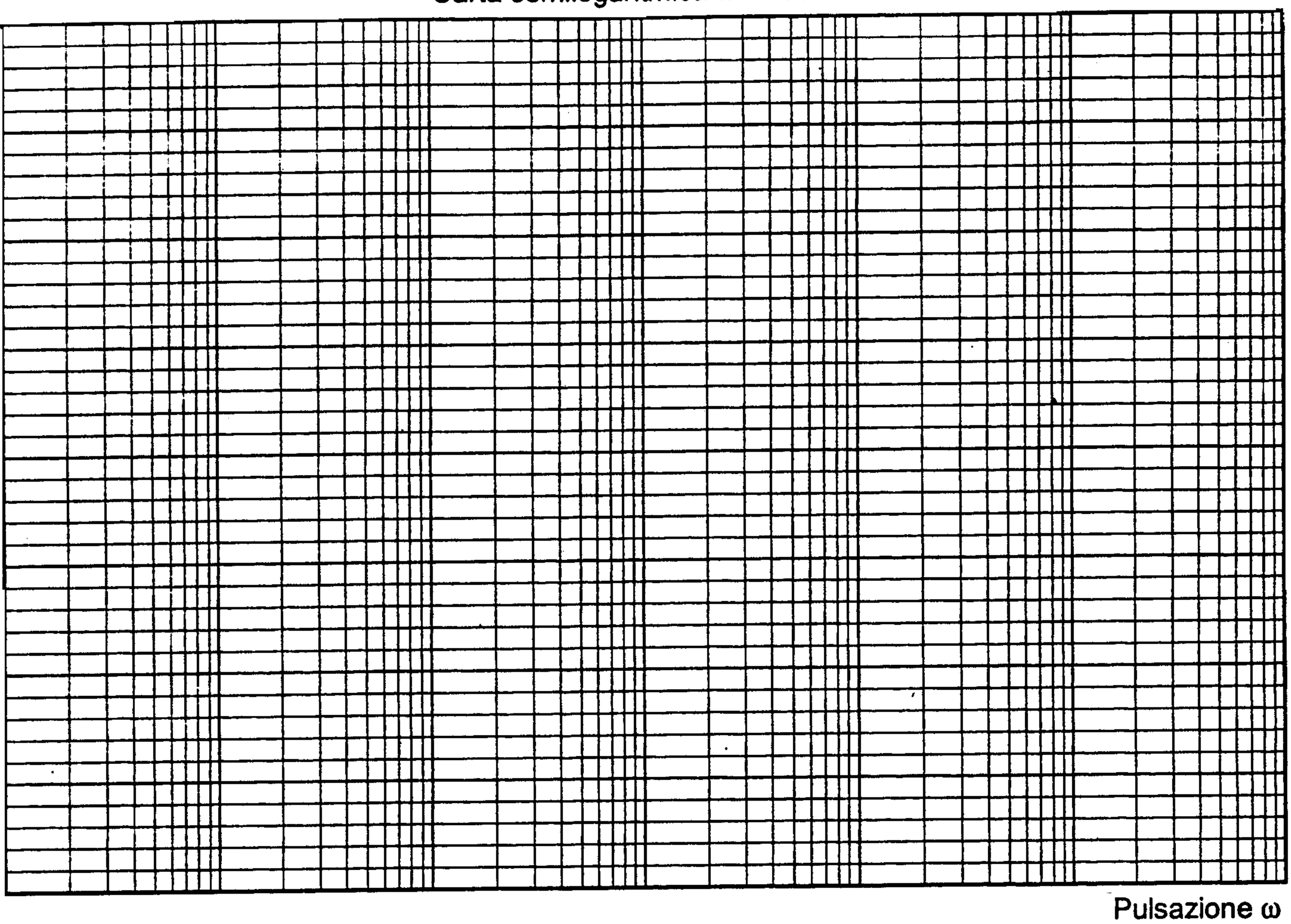
D) Progettare un sistema di controllo in retroazione della temperatura θ_1 del primo ambiente, per mezzo di un compensatore in cascata <u>da realizzarsi in forma digitale</u>, tale da soddisfare le seguenti specifiche:

- L'errore di inseguimento ad un riferimento costante di temperatura sia nullo in regime permanente, in assenza dei disturbi θ_d e θ_e.
- L'errore di inseguimento ad un riferimento di temperatura $r(t) = \rho\, t$ sia non superiore in modulo a $0.1\,\rho$ in regime permanente, in assenza dei disturbi θ_d e θ_e.
- L'effetto sull'uscita θ_1 dei disturbi $\bar{\theta}_d = 283$ K e $\bar{\theta}_e = 293$ K sia complessivamente non superiore in modulo a 0.1 K in regime permanente.
- La sovraelongazione della risposta ad un riferimento di temperatura a gradino unitario sia minore del 20% in assenza dei disturbi θ_d e θ_e.
- Il tempo di salita della risposta ad un riferimento a gradino unitario sia inferiore a 0.5 secondi in assenza dei disturbi θ_d e θ_e.
- L'effetto sulla risposta del sistema controllato di eventuali disturbi sinusoidali $\theta_s(t)$ di pulsazione $\leq$ 0.1 rad/s, da considerarsi additivi all'uscita del sistema e che quindi si sommano alla temperatura θ_1 del primo ambiente, sia inferiore in regime permanente al 5% dell'ampiezza di tali disturbi.

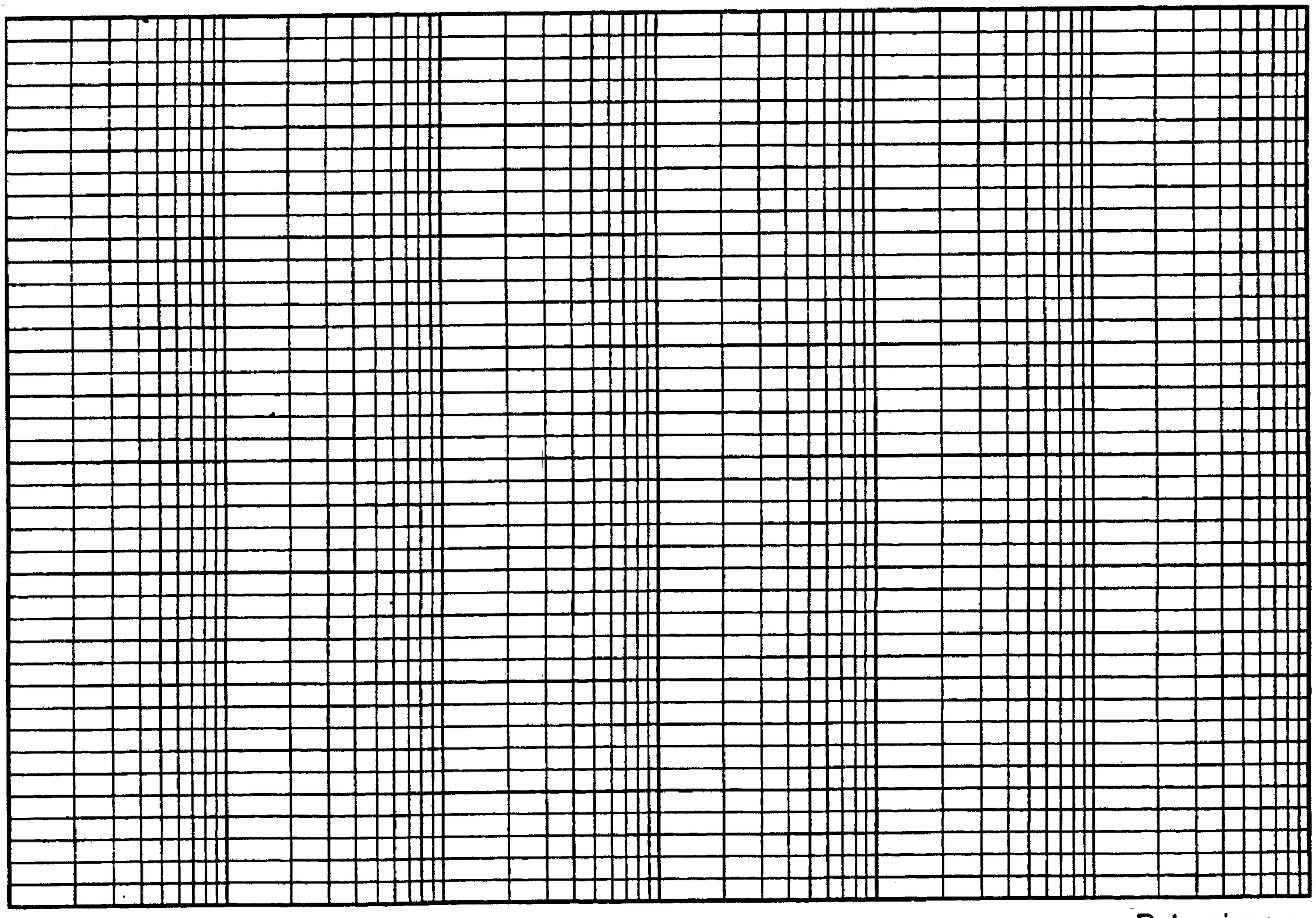
Analizzare le proprietà del sistema ad anello chiuso ottenuto, mettendone in evidenza (oltre al soddisfacimento delle specifiche imposte, compatibilmente con i mezzi di calcolo a disposizione) le caratteristiche ritenute più significative, e valutando in particolare l'attività sul comando richiesta dal compensatore progettato.

Nota: Il candidato può determinare direttamente la funzione di trasferimento $C(z)$ (nella variabile z) del compensatore digitale, avendo preventivamente definito un opportuno passo di campionamento, oppure progettare un compensatore analogico e successivamente convertirne la funzione di trasferimento $C(s)$ in forma digitale, scegliendo il passo di campionamento (ed il metodo di discretizzazione) in modo da riprodurre al meglio a tempo discreto il segnale continuo in uscita da $C(s)$, e garantendo il soddisfacimento delle specifiche imposte.

Carta semilogaritmica a 6 decadi



Pulsazione ω



Pulsazione ω

POLITECNICO DI TORINO

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

SEZIONE A

I SESSIONE 2002

PARTE B DEL TEMA COMUNE A TUTTI I SETTORI (CIVILE ED AMBIENTALE, INDUSTRIALE, DELL'INFORMAZIONE)

Il candidato dovrà dare risposta, in modo schematico, relativamente al tema prescelto compatibilmente al tema stesso, su almeno due delle seguenti domande:

1. principi generali di stima del valore;
2. normative di riferimento;
3. le figure e le responsabilità di chi progetta, esegue e controlla;
4. sostenibilità degli interventi;
5. sicurezza;
6. qualità;
7. conoscenza dei risvolti tariffari.