



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Esame di Stato per l'abilitazione alla professione  
di Ingegnere dell'Informazione  
II sessione, anno 2015

Prima prova scritta – 18 novembre 2015  
Tema di Informatica

Il candidato

1. illustri in generale il concetto di *trasformata* di un segnale;
2. illustri almeno due trasformate specifiche usate nella pratica professionale dell'Ingegneria dell'Informazione, fornendo anche esempi concreti di applicazioni;
3. descriva le problematiche a suo avviso più significative nel calcolo di una trasformata per via numerica;
4. presenti almeno un algoritmo di calcolo efficiente di una trasformata.

La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO  
DELLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE DELL'INFORMAZIONE  
Seconda sessione 2015  
Prima prova scritta**

**TEMA DI ELETTRONICA**

Il candidato risolva i seguenti problemi, tenendo conto che la capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

**PROBLEMA 1**

Partendo dalle equazioni che descrivono il comportamento elettrostatico e il trasporto di carica nei semiconduttori, il candidato:

1. Ricavi l'espressione analitica delle equazioni che descrivono le caratteristiche corrente-tensione (I-V) quasi statiche del transistor MOSFET, evidenziando le ipotesi sotto cui la derivazione è valida.
2. Riporti in forma grafica l'andamento approssimato delle caratteristiche di uscita e della transcaratteristica di un MOSFET a canale n.
3. Descriva il modello equivalente ai piccoli segnali ac del MOSFET derivando l'espressione analitica dei parametri.

**PROBLEMA 2**

Nel contesto del progetto di un circuito digitale in tecnologia CMOS, il candidato:

1. Illustri in modo comparativo i vantaggi e gli svantaggi della realizzazione del circuito in logica CMOS complementare (FCMOS) e in logica a rapporto, con particolare riferimento al consumo di potenza, alla velocità e all'occupazione di area.
2. Disegni lo schema del circuito che realizza la funzione logica:  $Y = \overline{(A \cdot B + C)} \cdot \overline{(D + E)}$  sia in logica FCMOS che in logica a rapporto.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Esame di Stato di abilitazione all'esercizio della professione di Ingegnere  
dell'Informazione

Seconda Sessione dell'Anno 2015  
Seconda Prova Scritta

Tema di: Automatica

Nell'Ingegneria del controllo capita spesso che non sia disponibile un modello sufficientemente accurato per descrivere la dinamica del sistema da controllare.

Dopo aver discusso alcune delle ragioni per cui ciò accade e le più comuni tipologie di "incertezza" sul sistema con cui si ha a che fare, il candidato illustri le metodologie che permettono di fronteggiare la scarsa conoscenza del sistema da controllare in modo da pervenire comunque alla sintesi di un controllore adeguato.

Il candidato confronti le diverse metodologie evidenziandone pregi e difetti.

**N.B. Verranno valutate positivamente chiarezza, precisione e sinteticità delle risposte.**

A handwritten signature in dark ink, consisting of a stylized, cursive letter 'A' or similar shape.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

## Esame di stato di abilitazione all'esercizio della professione di Ingegnere dell'Informazione Senior

Seconda sessione dell'anno 2015

### Seconda Prova Tema di Bioingegneria

La realizzazione di Cartella Clinica Elettronica (CCE) e Fascicolo Sanitario Elettronico (FSE) long-life rappresentano un esempio paradigmatico delle tante problematiche relative all'uso delle tecnologie dell'informazione in sanità.

- a) Usando le modalità proprie dell' aspirante professionista, il candidato illustri le sfide principali che si pongono a chi deve progettare, realizzare ed infine vendere "prodotti" CCE e FSE che abbiano effettivo impatto nella gestione quotidiana dei processi sanitari e sulla qualità dell'assistenza.
- b) Come caso particolare, si faccia poi riferimento alle scelte progettuali e alle modalità operative imposte dallo specifico contesto operativo della medicina di base.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO  
DELLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE DELL'INFORMAZIONE  
Seconda sessione 2015  
Seconda prova scritta**

**TEMA DI ELETTRONICA**

Il candidato, utilizzando transistor bipolari (BJT) npn, resistori e condensatori, progetti un amplificatore con le seguenti caratteristiche:

1. guadagno a centro banda:  $\geq 50 \text{ dB}$
2. resistenza di ingresso:  $50 \Omega$
3. resistenza di uscita:  $\leq 10 \Omega$

Il circuito è alimentato tra  $V_{CC}=+12 \text{ V}$  e  $V_{EE}=0 \text{ V}$ . Il guadagno a centro banda è definito come guadagno di tensione ai piccoli segnali ac tra una sorgente con resistenza interna  $R_s = 50 \Omega$  e l'uscita dell'amplificatore a vuoto. I parametri del BJT npn sono: guadagno di corrente a emettitore comune  $\beta = 120$ ; tensione di Early  $V_A = 200 \text{ V}$ ;  $V_{BEon} = 0.7 \text{ V}$ ;  $V_{CEsat} = 0.2 \text{ V}$ .

La soluzione deve includere lo schema elettrico completo del circuito, il dimensionamento dei componenti passivi e il punto di lavoro dei componenti attivi, un'analisi approssimata del comportamento in regime di piccoli segnali del circuito che evidenzi il soddisfacimento delle specifiche, una giustificazione sintetica delle scelte di progetto.

La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Esame di Stato per l'abilitazione alla professione  
di Ingegnere dell'Informazione  
II sessione, anno 2015

Seconda prova scritta – 18 novembre 2015  
Tema di Informatica

Il candidato descriva approfonditamente tutte le fasi del ciclo di vita del software, declinandole nei diversi modelli conosciuti.

La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

12



# Esame di Stato per l'abilitazione all'esercizio della professione di Ingegnere dell'Informazione

Seconda sessione dell'anno 2015  
18 novembre 2015

## Tema di Telecomunicazioni

Il candidato:

(Q1) Illustri la tecnica di modulazione M-QAM e per  $M = 4$  la compari con la modulazione QPSK.

(Q2) Derivi la formula della probabilità di errore per bit  $P_{\text{bit}}(\gamma)$  per la modulazione QPSK per un canale AWGN con rapporto segnale-rumore pari a  $\gamma$ .

(Q3) Determini il massimo bitrate ottenibile utilizzando una modulazione M-QAM con costellazione quadrata a  $L \times L = M$  livelli. A tal fine si consideri una potenza di trasmissione di 1 W, antenne con guadagno di 18 dB (stesso guadagno al ricevitore e al trasmettitore), ricevitore con figura di rumore  $F = 6$  dB misurata alla temperatura  $T_{\text{ref}} = 290$  K e operante alla temperatura di  $T_i = 30$  gradi centigradi, frequenza portante  $f_c = 2.4$  GHz e banda  $B = 20$  MHz, Nyquist pulse shaping, attenuazione di path-loss pari a  $P_{\text{loss}}(d) = 21.98 + 25 \log_{10}(d) - 20 \log_{10}(\lambda)$  ( $\lambda$  è la lunghezza d'onda), imponendo una probabilità d'errore  $P_{\text{bit}} \leq 10^{-6}$  per una distanza di collegamento di 10 km. Per la probabilità  $P_{\text{bit}}$  della modulazione M-QAM si utilizzi la formula approssimata:

$$P_{\text{bit}}(\gamma_i) \simeq 0.2 \exp\left(-\frac{1.5\gamma_i}{M-1}\right). \quad (1)$$

(Q4) Calcoli l'efficienza spettrale (bit/s/Hz) per il collegamento radio al quesito (Q3) e lo si confronti con la massima efficienza spettrale (limite di Shannon) ottenibile sullo stesso canale AWGN.

(Q5) Al livello di collegamento (link layer) si utilizza una tecnica di ritrasmissione (ARQ). I pacchetti hanno dimensione costante pari a  $m = 800$  bit (inclusiva di header e parte dati) e sono trasmessi alla bitrate massima identificata al quesito (Q3). Il tempo di risposta (round trip time, RTT) inteso come il tempo intercorso dall'inizio della trasmissione di un pacchetto di link alla completa ricezione del relativo messaggio di acknowledgement (ACK) da parte del ricevitore è  $RTT = 10$  ms. Si dica quale tra i due protocolli 1) Stop and Wait (SW) ARQ e 2) Selective Repeat (SR) ARQ offre un miglior throughput e se ne giustifichi il motivo.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Esame di Stato per l'Abilitazione all'Esercizio della Professione di  
Ingegnere dell'Informazione

Seconda Sessione dell'Anno 2015  
Prova Pratica

Tema di Automatica

Si vuole controllare la temperatura lungo una barra di rame attraverso il riscaldamento oppure il raffreddamento delle estremità. Si assuma che il profilo di temperatura lungo la barra sia approssimato dalle temperature  $x_1$ ,  $x_2$ , e  $x_3$  in tre punti distinti. Si considerino come ingressi le temperature  $u_1$  e  $u_2$  alle estremità della barra, Figura 1.

Il profilo di temperatura può essere descritto in prima approssimazione dal seguente sistema di equazioni differenziali ordinarie:

$$\dot{x}_1 = \alpha(u_1 - x_1) + \alpha(x_2 - x_1)$$

$$\dot{x}_2 = \alpha(x_1 - x_2) + \alpha(x_3 - x_2)$$

$$\dot{x}_3 = \alpha(x_2 - x_3) + \alpha(u_2 - x_3)$$

dove  $\alpha$  è una costante che dipende dalla conducibilità termica e dal calore specifico della barra di rame. Si supponga di aver fissato le unità di misura in modo che  $\alpha = 1$ .



Figura 1: barra di rame.

6



Si ipotizzi di controllare la temperatura in  $x_1$ ,  $x_2$ , e  $x_3$  con il solo ingresso  $u_1$ , assumendo  $u_2 = 0$ .

1. Si valuti se è possibile ottenere un arbitrario profilo di temperatura, i.e. arbitrari valori di  $x_1$ ,  $x_2$ , e  $x_3$ , applicando una opportuna azione di controllo.
2. Si assuma che, grazie all'impiego di sensori, tutti i valori di temperatura  $x_1$ ,  $x_2$ , e  $x_3$  siano disponibili. Determinare una retroazione dallo stato (riportando anche lo schema a blocchi corrispondente) che porti un qualunque stato iniziale a zero più rapidamente di  $e^{-3t}$ .
3. Diversamente dal caso precedente, si ipotizzi di utilizzare un solo sensore; di conseguenza, uno solo dei valori di temperatura (i.e.  $x_1$ , oppure  $x_2$ , oppure  $x_3$ ) è direttamente accessibile.
  - Quale scelta del punto di misura assicura che il sistema sia osservabile?
  - Si progetti uno stimatore di ordine ridotto per gli stati non direttamente accessibili (riportando anche lo schema a blocchi corrispondente) in modo che l'errore di stima converga a zero più rapidamente di  $e^{-3t}$ .





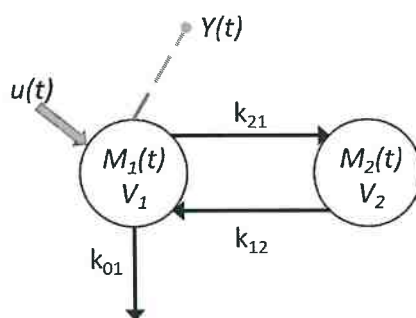
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Esame di stato di abilitazione all'esercizio della professione di Ingegnere  
dell'Informazione Senior

Seconda sessione dell'anno 2015

Terza Prova  
Tema di Bioingegneria

La cinetica di assorbimento, distribuzione e eliminazione del radiofarmaco XYZ introdotto in un organismo è descritta dal seguente modello compartimentale:



dove  $u(t)$  = ingresso impulsivo di ampiezza  $D$  [mg] del radiofarmaco,  $y(t)$  = uscita misurata pari alla concentrazione del radiofarmaco nel primo compartimento,  $V_1$  e  $V_2$  = volume in litri del, rispettivamente, primo e secondo compartimento,  $M_1(t)$  e  $M_2(t)$  = variazione della massa del radiofarmaco nel, rispettivamente, primo e secondo compartimento;  $k_{21}$ ,  $k_{12}$ ,  $k_{01}$  = costanti di velocità di scambio in  $[\text{min}^{-1}]$ .

1. Scrivere le equazioni di bilancio di massa del modello di stato a tempo continuo che descrivono il sistema, specificandone i valori iniziali, e le rispettive matrici  $F$ ,  $G$ ,  $H$ ,  $J$ :

$$\dot{x}(t) = Fx(t) + Gu(t)$$

$$y(t) = Hx(t) + Ju(t)$$

2. Studiare l'identificabilità a priori del modello sapendo che  $D$  è noto. L'identificabilità a priori del modello cambierebbe se fosse noto non solo  $D$  ma anche  $V_1$ ?
3. Considerando il grafo del modello compartimentale, si determini l'eventuale presenza di sotto sistemi chiusi.
4. Sapendo che  $k_{01} = 0.1 \text{ min}^{-1}$ ,  $k_{12} = 0.2 \text{ min}^{-1}$ ,  $k_{21} = 0.25 \text{ min}^{-1}$ ,  $V_1 = 1$  litro e  $u(t) = 2\delta(t) \text{ mg}$ , si calcoli il valore e l'unità di misura dell'uscita  $y(t)$  all'istante temporale  $t = 360 \text{ s}$ .

5. Si calcoli il valore della clearance sapendo che è definita come il reciproco dell'integrale da 0 a  $\infty$  della risposta del sistema ad un impulso di ampiezza unitaria sapendo sempre che  $k_{01} = 0.1 \text{ min}^{-1}$ ,  $k_{12} = 0.2 \text{ min}^{-1}$ ,  $k_{21} = 0.25 \text{ min}^{-1}$ ,  $V_1 = 1$  litro.

6. Sapendo che il sistema si può essere esplicitato nella forma:

$$y(t) = \frac{D}{V_1} [a \cdot \exp(-\alpha \cdot t) + b \cdot \exp(-\beta \cdot t)]$$

e che  $D = 2 \text{ mg}$ ,  $V_1 = 1$  litro,  $\alpha = 0.6 \text{ min}^{-1}$ ,  $\beta = 0.05 \text{ min}^{-1}$ , stimare i due parametri ignoti  $[a, b]$  avendo le seguenti misure:

| t [min] | y [mg/l] |
|---------|----------|
| 2       | 6        |
| 4       | 4        |

e sapendo che la varianza dell'errore di misura è pari a 1. Si calcolino gli intervalli di confidenza al 95% (2-sigma) per i due parametri **a** e **b**.





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ESAMI DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO  
DELLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE DELL'INFORMAZIONE  
Seconda sessione 2015  
Prova pratica**

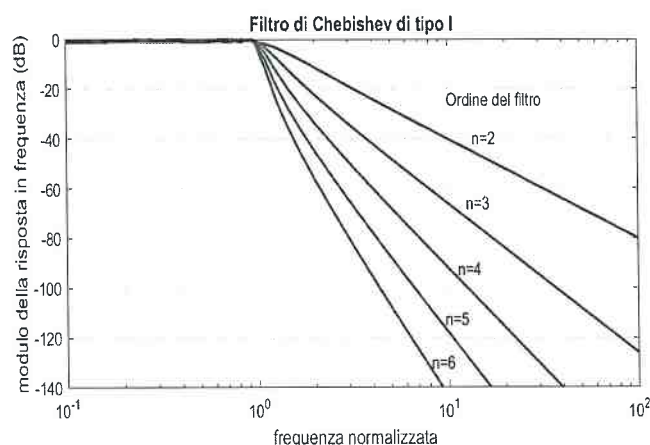
**TEMA DI ELETTRONICA**

Il candidato, ipotizzando di avere a disposizione amplificatori operazionali ideali e componenti passivi, progetti un filtro passa-basso con le specifiche seguenti:

- guadagno in banda passante: 0 dB
- banda passante: 10 kHz
- ondulazione residua in banda passante (ripple):  $\leq 1$  dB
- frequenza inferiore della banda di arresto: 50 kHz
- attenuazione in banda di arresto:  $\geq 80$  dB

A questo scopo, il candidato può utilizzare il grafico e la tabella sottostanti, che riportano rispettivamente il modulo della risposta in frequenza e il valore dei coefficienti della funzione di trasferimento dei filtri prototipo di Chebyshev di tipo I di ordine  $n$  da 2 a 6 con ripple in banda passante pari a 1 dB. In particolare, la tabella si riferisce ad una realizzazione del filtro a cascata di biquadratiche con f.d.t. espressa nella forma:

$$H(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$



| n | b2 | b1     | b0     | a2 | a1     | a0     |
|---|----|--------|--------|----|--------|--------|
| 2 | 0  | 0      | 0.9826 | 1  | 1.0977 | 1.1025 |
| 3 | 0  | 0.4913 | 0      | 1  | 0.4942 | 0      |
|   | 0  | 0      | 1      | 1  | 0.4942 | 0.9942 |
| 4 | 0  | 0      | 0.2457 | 1  | 0.6737 | 0.2794 |
|   | 0  | 0      | 1      | 1  | 0.2791 | 0.9865 |
| 5 | 0  | 0.1228 | 0      | 1  | 0.2895 | 0      |
|   | 0  | 0      | 1      | 1  | 0.4684 | 0.4293 |
|   | 0  | 0      | 1      | 1  | 0.1789 | 0.9883 |
| 6 | 0  | 0      | 0.0614 | 1  | 0.4641 | 0.1247 |
|   | 0  | 0      | 1      | 1  | 0.3398 | 0.5577 |
|   | 0  | 0      | 1      | 1  | 0.1244 | 0.9907 |



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Esame di Stato per l'abilitazione alla professione  
di Ingegnere dell'Informazione  
II sessione, anno 2015

Prova Pratica – 26 novembre 2015  
Tema di Informatica

Il candidato realizzi la progettazione di un sistema informatico per la gestione degli iscritti ad un ordine professionale che preveda la gestione di: albo anagrafico, aree personali degli iscritti, circolari e documentazione, ANAC (anticorruzione e trasparenza), domanda/offerta lavoro.

Tale sistema dovrà prevedere diversi profili di accesso a livello di personale interno del singolo ordine provinciale per la gestione intera e il carimento dei contenuti, di ogni iscritto per quanto riguarda le aree personali e la consultazione dei documenti e delle federazioni/consulte regionali come segreteria per documenti circolari informative.

Il sistema deve conservare i dati in modo sicuro e deve garantire un servizio costante 24h/24h e 7g/7g. Le funzionalità offerte devono aiutare il più possibile l'utente nello svolgimento delle operazioni sul sistema (inserimento dati e visualizzazione in primis).

Indicare quali operazioni devono inoltre essere registrata in un file di log per consentire la tracciabilità del movimento effettuato tramite il sistema.

Nel dettaglio si richiede inoltre al candidato di:

1. stilare un piano di lavoro che specifichi le varie attività di progettazione che saranno svolte, quali competenze specifiche sono richieste da ciascuna di esse, in che ordine tali attività saranno svolte;
2. specificare in modo dettagliato le funzionalità che dovrà avere l'applicazione e progettare l'archivio dei dati sottostante, aiutandosi con l'uso di schemi e diagrammi;
3. specificare in modo dettagliato l'architettura HW/SW del sistema, sia per la memorizzazione e la corretta gestione di tutti i dati, sia per l'implementazione delle funzionalità;
4. evidenziare in modo esaustivo gli aspetti critici dal punto di vista della sicurezza e dell'usabilità del sistema, proponendo soluzioni specifiche per il problema presentato.

La capacità di sintesi, l'ordine e la chiarezza espositiva costituiranno elementi di valutazione.

6

# Esame di Stato per l'abilitazione all'esercizio della professione di Ingegnere dell'Informazione

Seconda sessione dell'anno 2015  
Prova pratica – 26 novembre 2015

## Tema di Telecomunicazioni

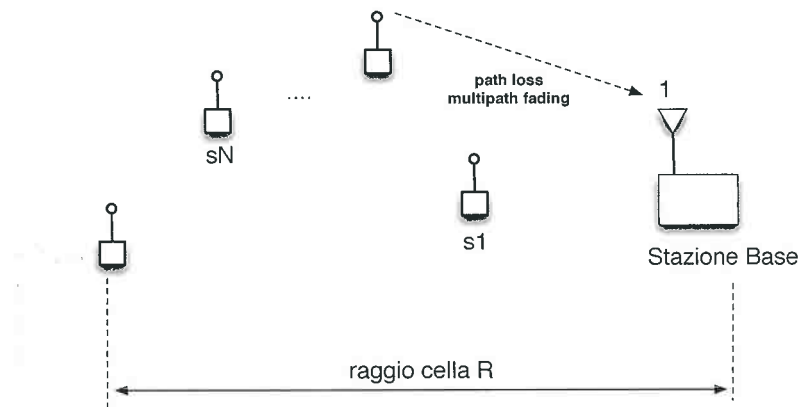


Figure 1. Scenario di comunicazione.

Si consideri lo scenario di comunicazione in Fig. 1. Una rete composta da  $N$  sensori  $s_1, s_2, \dots, s_N$  è utilizzata per il monitoraggio della concentrazione di monossido di carbonio in ambiente urbano. I sensori sono connessi ad una stazione base (SB) con la quale comunicano per via di un canale radio. Il flusso dati (sensori  $\rightarrow$  stazione base) è trasmesso tramite il canale di *uplink*, mentre un canale di controllo in *downlink* (stazione base  $\rightarrow$  sensori) è predisposto per ogni sensore per controllare la sua potenza in trasmissione.

**Livello fisico:** i sensori trasmettono alla stazione base utilizzando una frequenza portante pari a  $f_c = 2.4$  GHz e occupando una porzione di spettro (banda) pari a  $B = 2$  MHz. La distanza tra il generico sensore  $s_i$  e la SB è indicata come  $d_i$  e tutti i sensori sono posizionati all'interno di un raggio di copertura pari a  $R = 150$  m, ovvero  $d_i \leq R$  per  $s_1, s_2, \dots, s_N$ . Il livello fisico (PHY) dei sensori utilizza una modulazione M-QAM, per la quale a probabilità di errore alla SB è ben approssimata dalla seguente funzione:

$$P_{\text{bit}}(\gamma_i) \approx 0.2 \exp\left(-\frac{1.5\gamma_i}{M-1}\right), \quad (1)$$

dove  $\gamma_i$  è il rapporto segnale-rumore al ricevitore SB associato alla trasmissione del generico sensore  $s_i$ .

**Canale di comunicazione:** Il canale di comunicazione è affetto da due principali fenomeni attenuativi: 1) **path loss** e 2) **multipath fading**, caratterizzati come segue:

- 1) Il path loss (in dB) è espresso come:

$$P_L(\lambda, \beta, d)[\text{dB}] = 21.98 + 10\beta \log_{10}(d) - 20 \log_{10} \lambda [\text{dB}], \quad (2)$$

dove con  $\lambda$  si indica la lunghezza d'onda associata alla trasmissione e  $\beta = 4$  è il coefficiente di attenuazione.

- 2) Il multipath fading è distribuito secondo una statistica di Rayleigh. Considerando il canale trasmissivo dal generico sensore  $s_i$  alla SB, il rapporto segnale rumore associato alla ricezione dal sensore  $s_i$  è governato dalla seguente densità di probabilità (pdf) al ricevitore (SB):

$$p(\gamma_i) = \frac{1}{\gamma_o(i)} \exp\left(-\frac{\gamma_i}{\gamma_o(i)}\right), \quad (3)$$

dove  $\gamma_o(i)$  è il rapporto segnale-rumore medio alla SB, mentre  $\gamma_i$  è il rapporto segnale-rumore istantaneo. Al fine del calcolo di  $\gamma_o(i)$ , si consideri una densità spettrale di potenza di rumore pari a  $N_o = 4.53 \cdot 10^{-21}$  W/Hz. In ultimo, le attenuazioni di potenza al trasmettitore  $A_{tx}$  (sensori) e ricevitore  $A_{rx}$  (SB) sono  $A_{tx} = A_{rx} = 1$  dB, mentre i guadagni di antenna sono  $G_{tx} = 1.65$  dB (sensori) e  $G_{rx} = 3$  dB (SB).

**Feedback e controllo in potenza:** i sensori sono dotati di una semplice forma di controllo in potenza, utile al fine di minimizzare il dispendio energetico dovuto alla trasmissione verso la SB. La SB misura il rapporto segnale-rumore  $\gamma_i$  per ogni sensore  $s_i$  e lo comunica tempestivamente allo stesso (si assume un ritardo trascurabile per la comunicazione di  $\gamma_i$  al sensore  $s_i$ ). Il sensore  $s_i$  trasmette alla SB utilizzando una potenza  $P(\gamma_i)$  ottenuta in funzione del rapporto segnale-rumore istantaneo. Si definisce una soglia  $\gamma^* \geq 0$  e ad ogni opportunità di trasmissione, il sensore  $s_i$  si comporta come segue: se  $\gamma_i < \gamma^*$  il sensore non trasmette, ovvero  $P(\gamma_i) = 0$ , se invece  $\gamma_i \geq \gamma^*$  il sensore utilizza una potenza in trasmissione costante e pari a  $P(\gamma_i) = 200$  mW.

**Accesso al mezzo:** si considerano due protocolli:

- nel primo protocollo, i sensori accedono al canale trasmissivo utilizzando un protocollo di accesso a divisione di tempo (time division multiple access, TDMA). In particolare, la SB divide il tempo in cicli di  $N$  slot cadauno e assegna in modo univoco lo slot  $i$  al sensore  $s_i$  con  $i = 1, \dots, N$ . In ogni ciclo, ogni sensore  $s_i$  trasmette con probabilità unitaria se il canale lo consente, ovvero se  $\gamma_i \geq \gamma^*$  e salta un turno di trasmissione in caso contrario, ritentando la trasmissione nel ciclo successivo. Questo primo protocollo è utilizzato per la soluzione dei quesiti (Q1)–(Q6).
- Nel secondo protocollo, la trama temporale è la stessa del protocollo precedente, ma i sensori accedono ad ogni time slot in modo diverso. In particolare: 1) in ogni slot ogni sensore decide se accedere o meno al canale per trasmettere un pacchetto con probabilità  $1/N$ , 2) se il sensore decide di accedere al canale, trasmette un pacchetto usando una potenza costante pari a 200 mW. Se più di un sensore trasmette in uno slot, si assume che i pacchetti trasmessi collidono al ricevitore con probabilità unitaria e sono tutti persi. Il secondo protocollo è utilizzato per il solo quesito (Q7).

## QUESITI:

(Q1) Si divida la cella in quattro regioni,  $\mathcal{R}_1, \mathcal{R}_2, \mathcal{R}_3$  e  $\mathcal{R}_4$ , definite come segue:

- $\mathcal{R}_1 = \{s_i \text{ tale che } 120 \text{ m} < d_i \leq 150 \text{ m}\}$ ,
- $\mathcal{R}_2 = \{s_i \text{ tale che } 80 \text{ m} < d_i \leq 120 \text{ m}\}$ ,
- $\mathcal{R}_3 = \{s_i \text{ tale che } 40 \text{ m} < d_i \leq 80 \text{ m}\}$ ,
- $\mathcal{R}_4 = \{s_i \text{ tale che } 0 \text{ m} < d_i \leq 40 \text{ m}\}$ .

$\mathcal{R}_1$  contiene tutti i sensori le cui distanze dalla SB vanno da 120 m a 150 m, le altre regioni sono definite analogamente. Si calcoli il rapporto segnale-rumore  $\gamma_o^{wc}(i)$  di caso peggiore per ognuna delle regioni.

(Q2) Per questo quesito si consideri il protocollo di accesso TDMA, ovvero ogni sensore ha uno slot di trasmissione a lui allocato e esente da collisioni (per ogni ciclo). Si derivi in forma chiusa la probabilità di errore media  $E[P_{bit}(\gamma_i)]$  in funzione di  $\gamma^*$  per il generico sensore  $s_i$  (suggerimento: si utilizzino le equazioni (1) e (3) e si consideri il fatto che quando  $\gamma_i < \gamma^*$  la probabilità di errore è nulla in quanto il sensore non trasmette). Per semplicità, si suggerisce l'utilizzo della costante  $\alpha_1 = 1.5/(M - 1)$  nella equazione (1). Si esprima in ultimo la probabilità di errore per pacchetto  $p_m$  trasmesso all'interno di uno slot dal generico sensore  $s_i$ , considerando che ogni singolo pacchetto è composto da  $m$  bit (suggerimento: per questo calcolo si utilizzi l'espansione di Taylor  $(1 - x)^m \approx 1 - mx + o(x)$ ).

(Q3) Si consideri il canale associato al sensore  $s_i$  e si calcoli in forma chiusa la probabilità che il corrispondente canale radio sia in uno stato nel quale  $\gamma_i \geq \gamma^*$ , per  $\gamma^* > 0$  e fissata. Si indichi tale probabilità come  $\pi(\gamma^*) = P[\gamma_i \geq \gamma^*]$ .

(Q4) Ogni sensore  $s_i$  prova a trasmettere un pacchetto nello slot  $i$  ad esso allocato all'interno di un ciclo. La sua trasmissione va a buon fine se le seguenti condizioni sono congiuntamente verificate: 1) il segnale-rumore istantaneo all'atto dell'accesso al canale è  $\gamma_i \geq \gamma^*$  (in questo caso il sensore decide di trasmettere) e 2) il pacchetto trasmesso all'interno dello slot  $i$  è correttamente ricevuto. Si calcoli *throughput normalizzato per slot*  $\eta(\gamma^*)$ , definito come la probabilità media che la trasmissione di un pacchetto effettuata da un generico sensore  $s_i$  vada a buon fine all'interno di uno slot. Si esprima  $\eta(\gamma^*)$  in forma chiusa e parametrica (senza sostituire i parametri con i relativi valori numerici).







(Q5) Si consideri la probabilità di trasmissione con successo ottenuta al quesito precedente e si calcoli, in forma chiusa, il valore di  $\gamma^*$  che la massimizza in funzione di tutti gli altri parametri ( $\alpha_1$ ,  $\gamma_o(i)$  e  $m$ ). Si discuta il tradeoff che sottintende la scelta del parametro  $\gamma^*$ .

(Q6) Si indichi con  $M_i$  il numero di livelli della costellazione M-QAM utilizzata dai sensori all'interno della regione  $\mathcal{R}_i$  con  $i = 1, 2, 3, 4$ . Si calcoli numericamente il massimo throughput normalizzato per slot nella posizione peggiore (si usino i  $\gamma_o^{wc}(i)$  calcolati al quesito (Q1)) all'interno delle quattro regioni considerando per le stesse i seguenti parametri per la modulazione:  $M_1 = 2$ ,  $M_2 = 4$ ,  $M_3 = 8$  e  $M_4 = 32$ . A tal fine si consideri inoltre  $m = 480$ .

(Q7) Si analizzi ora l'efficienza del secondo protocollo di accesso. Si calcoli il numero medio di trasmissioni non collise  $S$  per slot di accesso temporale per  $N = 100$  sensori. Si noti che  $S$  è minore del numero medio di pacchetti ricevuti con successo per slot temporale, in quanto non tiene conto dell'effetto degli errori introdotti dal rumore (anche una trasmissione non collisa può essere ricevuta in errore a causa del basso segnale-rumore). In base al risultato ottenuto e al risultato al punto (Q6) si discuta quale dei due protocolli è preferibile.

(Q8) Si discutano i pregi e i difetti dei metodi ad accesso casuale (es. Aloha, CSMA) rispetto a quelli ad accesso deterministico (es. TDMA) al variare del traffico offerto.

---

