

# Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere I Sessione 2016

## Sez. A – Classi di Laurea LM-4 “Architettura e Ingegneria Edile–Architettura” e 4/S “Architettura e Ingegneria Edile” (Prova pratica – 1-07-2016)

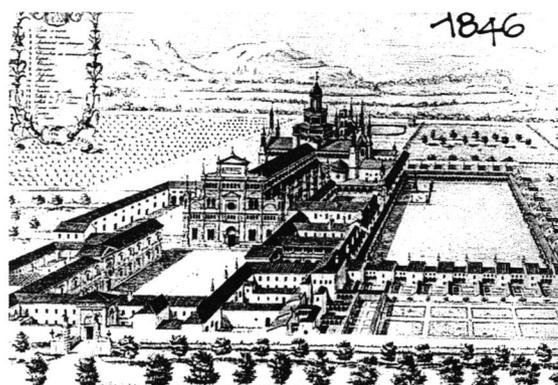
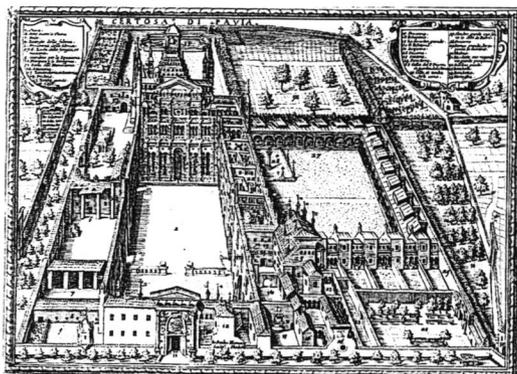
Il complesso monumentale della Certosa di Pavia (fondazione: agosto 1396) è costituito da molte diverse parti, oltre alla chiesa e al convento. Tra queste vi è un'ampia zona costruita, a nord, che fino agli anni Sessanta del 1900 era ancora utilizzata come fattoria. L'area è composta da edifici rustici di vario genere e da un grande corpo di fabbrica anticamente utilizzato come scuderia.

Ipotizzando un **recupero generale dell'area** della cosiddetta “corte rustica” il candidato si concentri sull'**edificio principale**, ne analizzi le caratteristiche e formuli una possibile datazione. Anche aggiungendo nuovi volumi, progetti gli spazi per una nuova funzione: **il complesso dovrà diventare sede di un centro studi dedicato al Rinascimento Lombardo.**

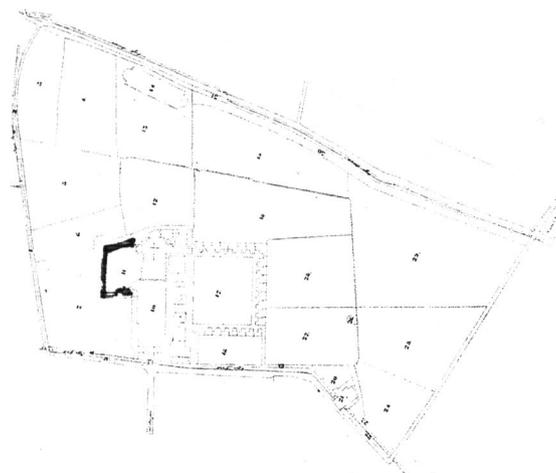
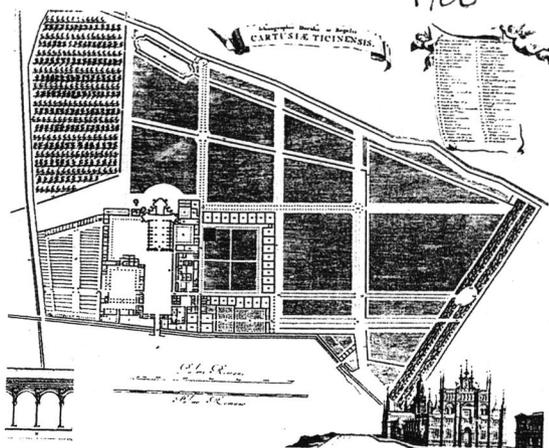
Il candidato presenti il proprio progetto sinteticamente in uno scritto (anche per punti), quindi analizzi l'edificio e l'area, formulando ipotesi di uso che tengano conto dell'esistente (escludendo le vecchie cascine particolarmente degradate), valuti l'introduzione di elementi nuovi necessari per la nuova funzione (ad es. scale, ascensori, servizi, spazi accessori alle funzioni principali ecc.).

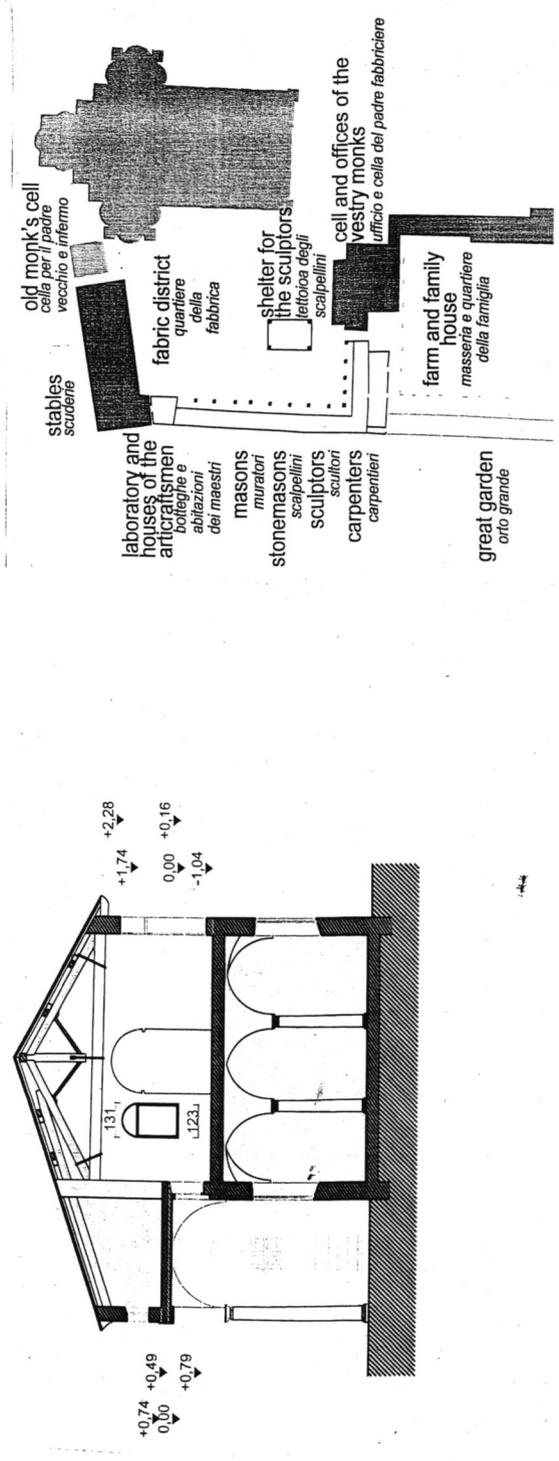
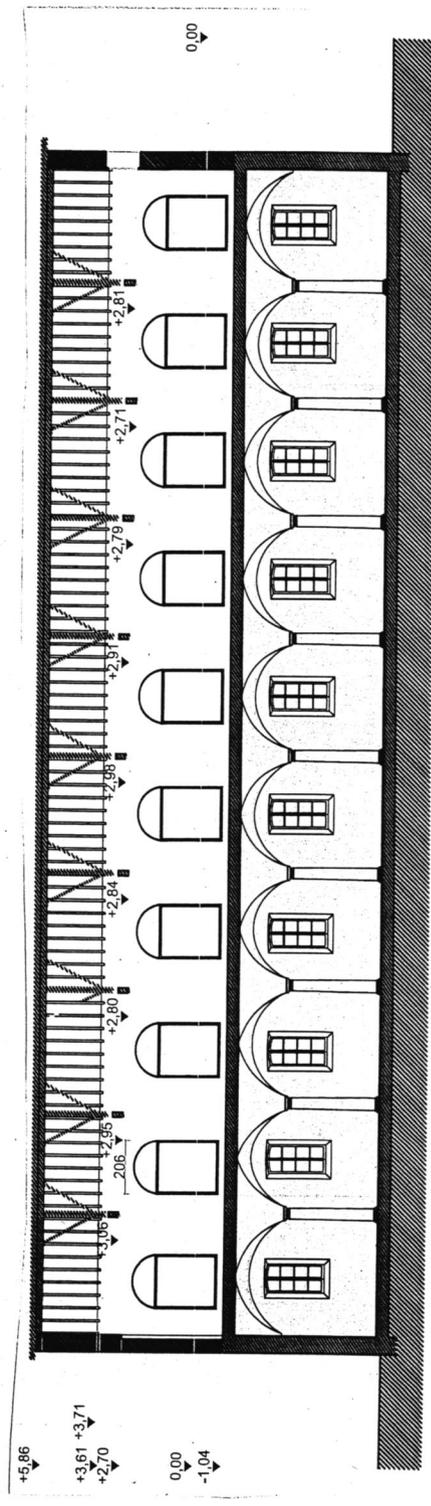
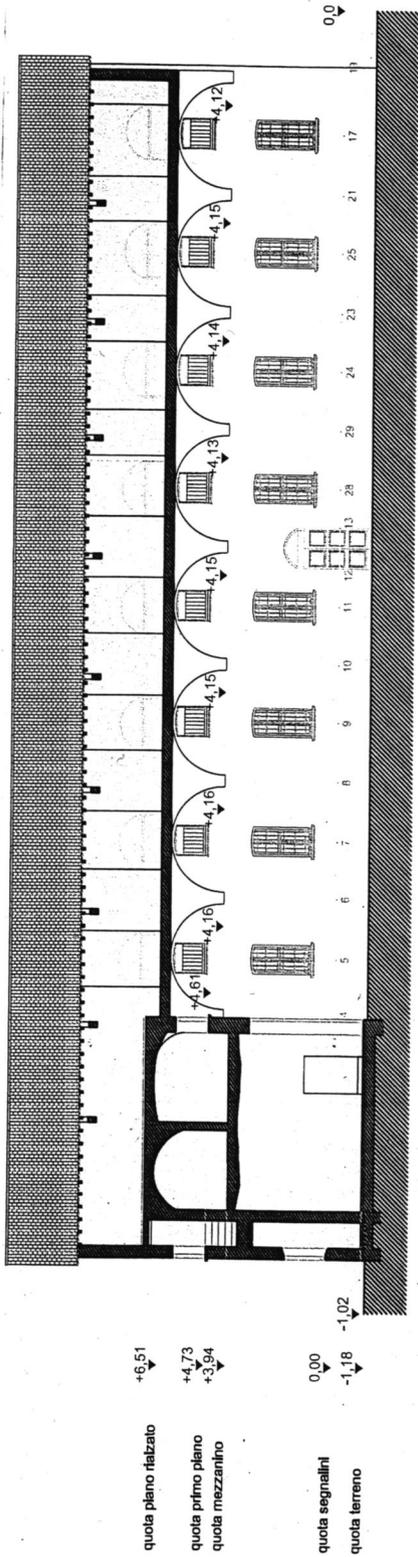
La progettazione potrà svolgersi anche con schizzi a mano libera che illustrino il progetto, lay-out generali, dettagli e ogni altro elemento descrittivo che il candidato reputi utile per illustrare il suo piano. I disegni forniti per il progetto sono in scala 1:200

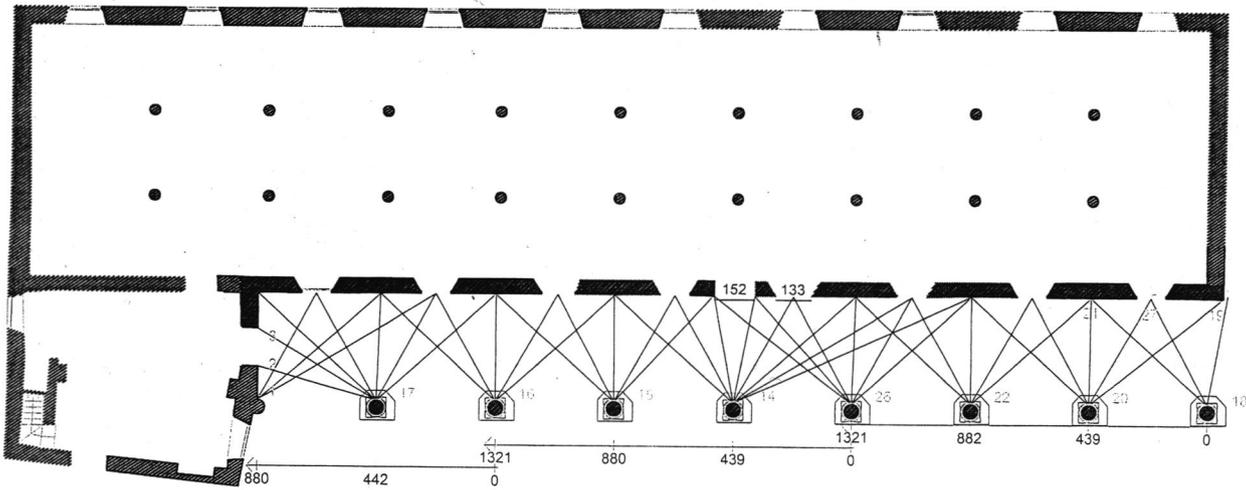
1600



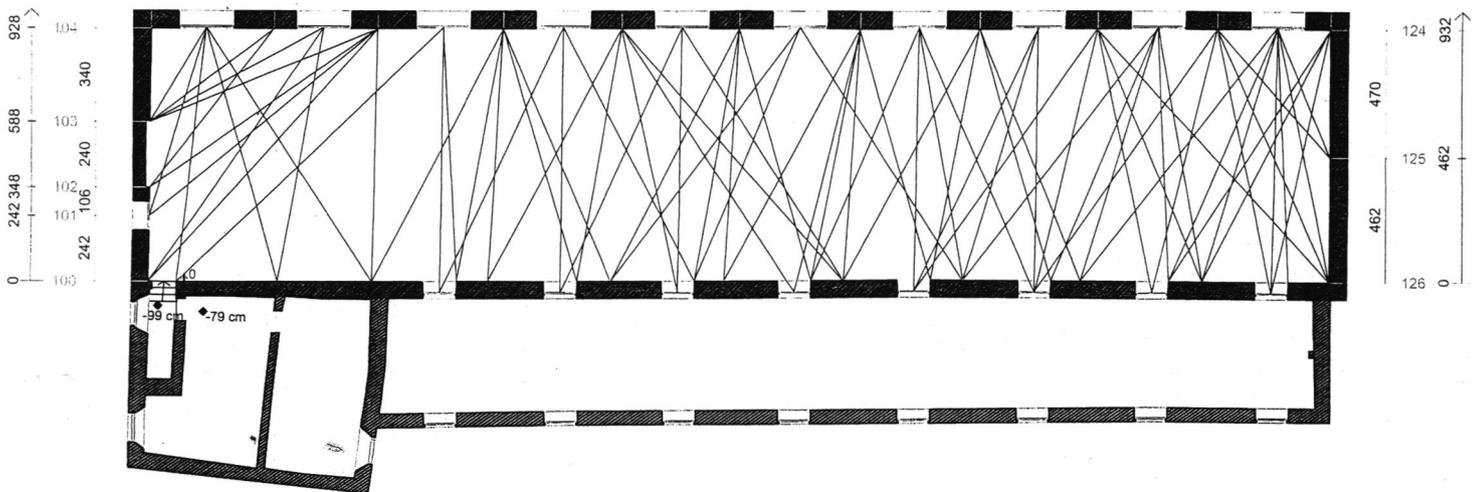
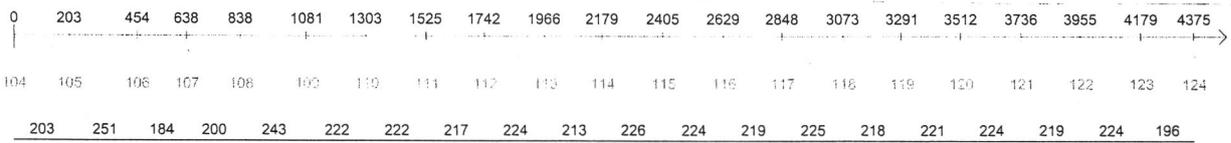
1700





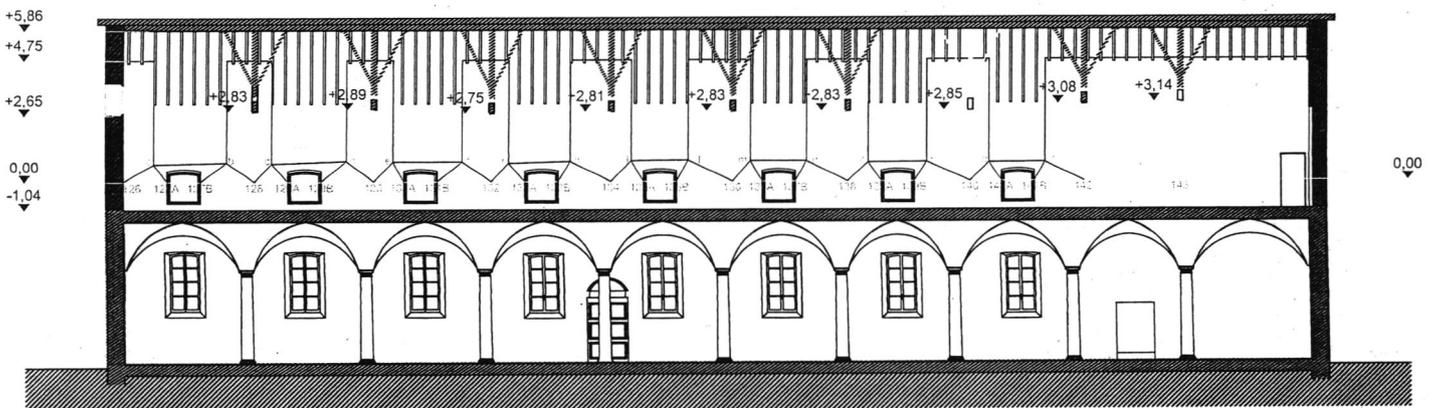


*pianta piano terra*



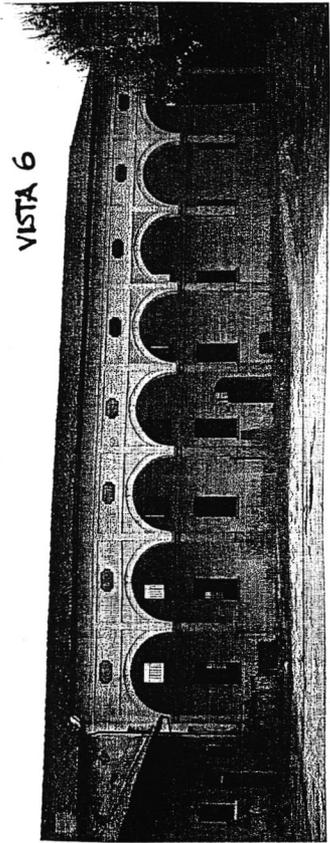
*pianta primo piano*

SEZIONE LONGITUDINALE B-B

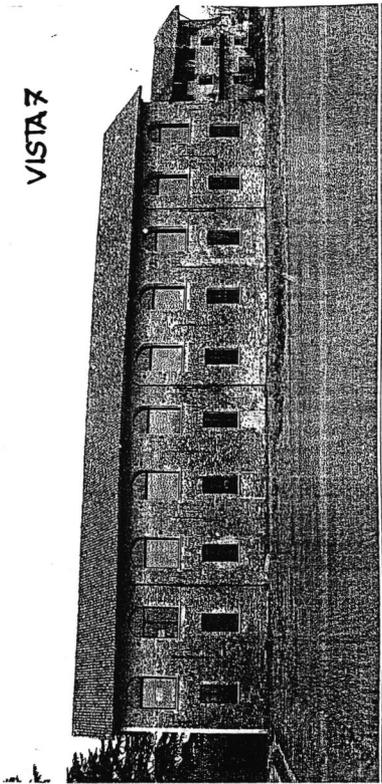


R. 1:200

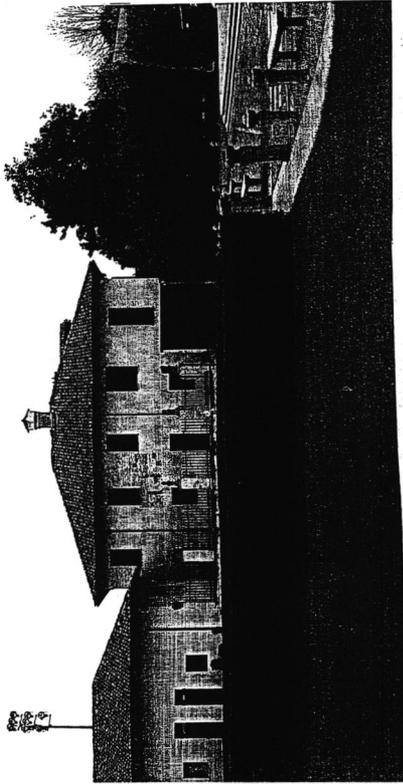
VISTA 6



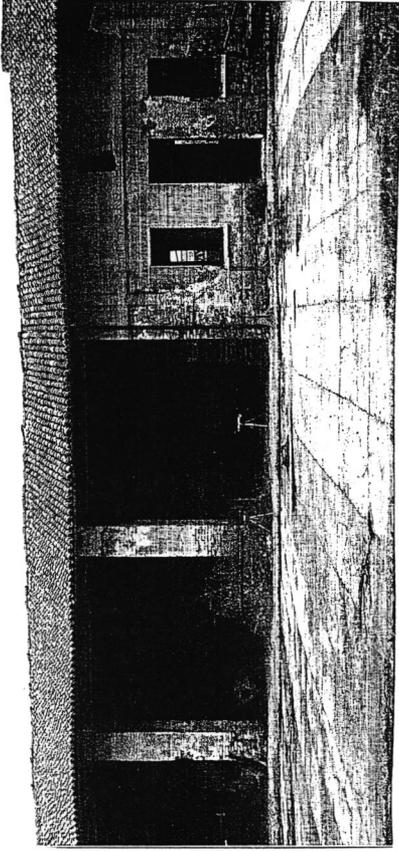
VISTA 7



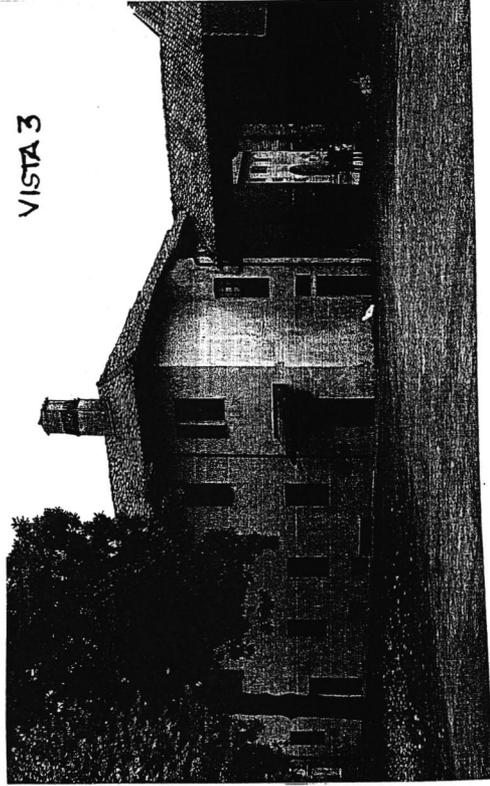
VISTA 2



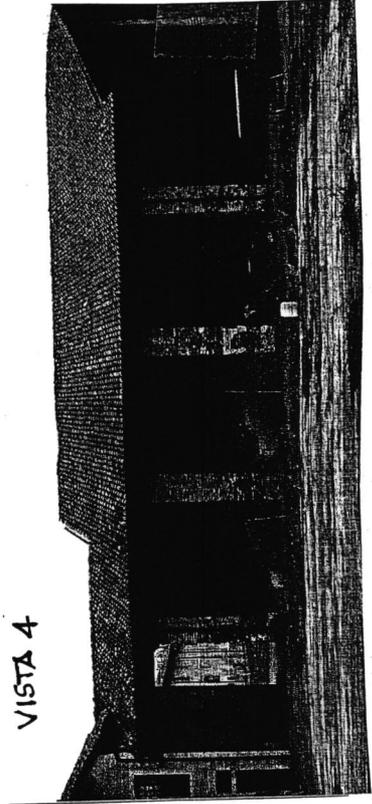
VISTA 5



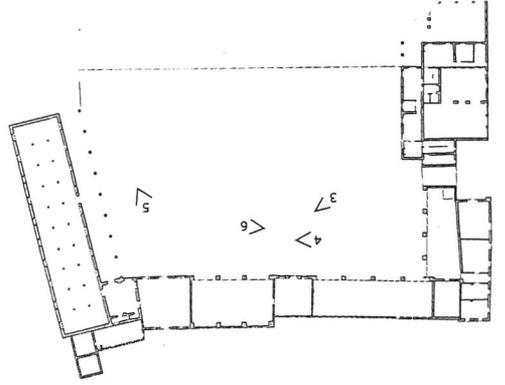
VISTA 3



VISTA 4



7



Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere  
I Sessione 2016

Sez. A – Classi di Laurea LM-23 e 28/S “Ingegneria Civile” (Prova pratica – 1-07-2016)

Tema 1

Il Candidato rediga la progettazione preliminare della rete di distribuzione idrica rappresentata in figura. (Le lettere designano i nodi, mentre i numeri i tronchi della rete di distribuzione idrica).

La rete serve un'area esclusivamente residenziale di cui è nota la popolazione complessiva di progetto, pari a 2200 unità. Si suppone che la popolazione sia uniformemente distribuita lungo i tronchi della rete, ad eccezione, del tronco 1 su cui non grava alcuna popolazione.

Nel nodo di alimentazione, nodo A, sono garantite la portata massima richiesta dall'utenza e una pressione minima pari a 3 bar.

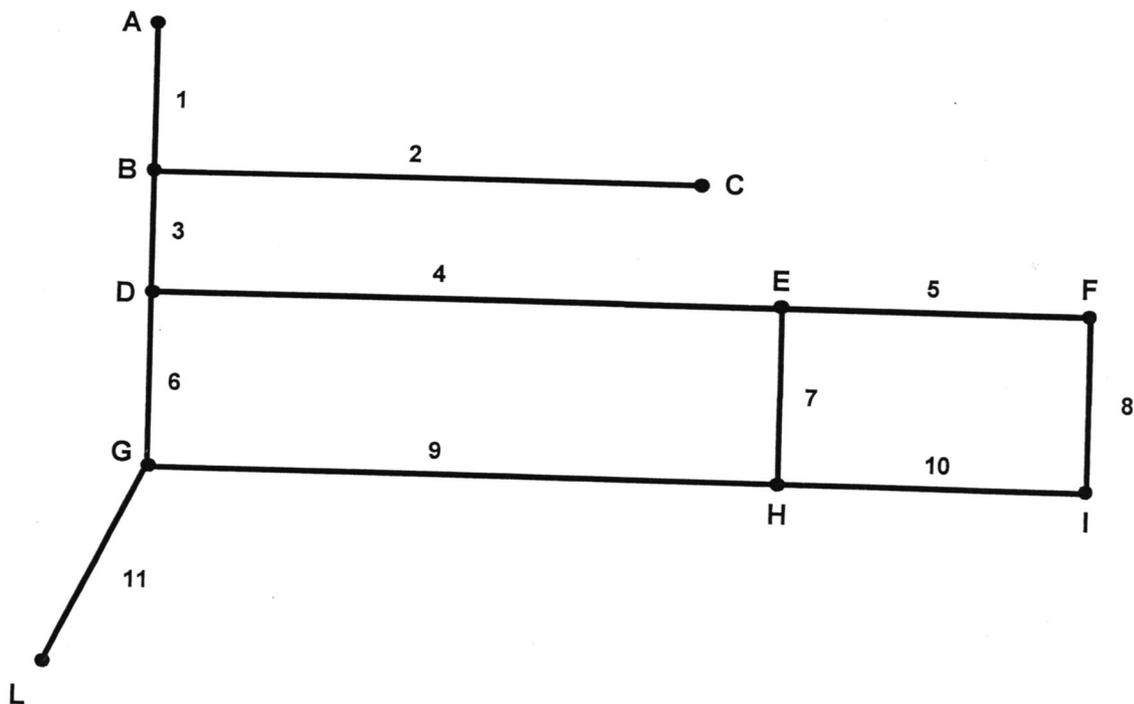
Sono note le quote geometriche dei nodi della rete che si sviluppa in un'area piuttosto pianeggiante:  $z_{gA} = 124$  m s.l.m.;  $z_{gB} = 123,5$  m s.l.m.;  $z_{gC} = 122,5$  m s.l.m.;  $z_{gD} = 123,5$  m s.l.m.;  $z_{gE} = 123$  m s.l.m.;  $z_{gF} = 123,5$  m s.l.m.;  $z_{gG} = 123,5$  m s.l.m.;  $z_{gH} = 123,5$  m s.l.m.;  $z_{gI} = 124$  m s.l.m.;  $z_{gL} = 124$  m s.l.m.

I tronchi hanno le seguenti lunghezze:  $L_1 = 140$  m;  $L_2 = 450$  m;  $L_3 = 120$  m;  $L_4 = 500$  m;  $L_5 = 200$  m;  $L_6 = 150$  m;  $L_7 = 150$  m;  $L_8 = 150$  m;  $L_9 = 500$  m;  $L_{10} = 200$  m;  $L_{11} = 200$  m.

L'altezza massima degli edifici da servire è pari a 15 m.

Il candidato fissi i dati mancanti giustificandone la scelta.

Si richiede la redazione di una relazione tecnica e degli elaborati atti a rappresentare l'intervento progettato: scelta del materiale, dimensioni delle tubazioni, sezione di posa, posizionamento delle apparecchiature di sezionamento e degli idranti antincendio, schema di un nodo.



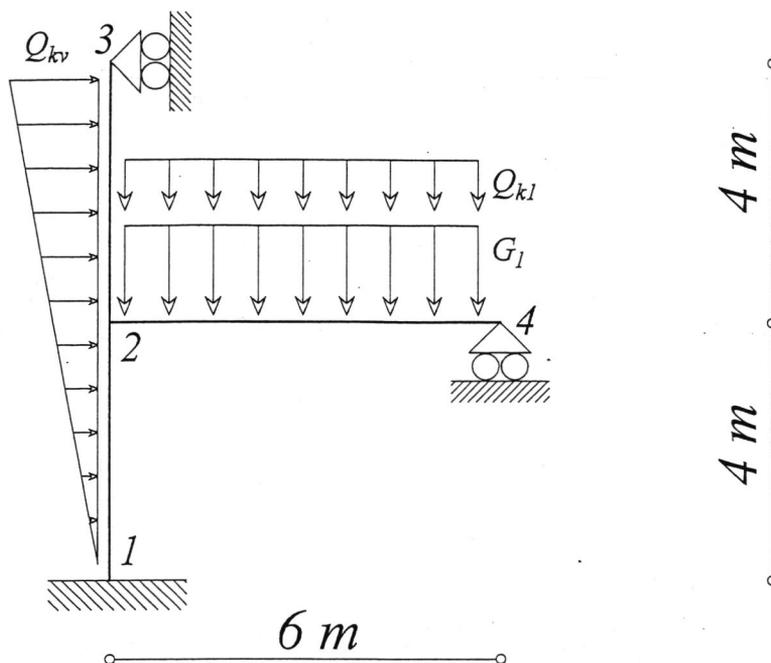
1. Il candidato può svolgere uno qualsiasi dei temi nell'ambito della propria classe di Laurea
2. La prova deve essere svolta esclusivamente su fogli bollati e siglati da un membro della commissione; l'uso di fogli diversi comporta l'annullamento della prova.
3. Il candidato dovrà numerare progressivamente e scrivere cognome e nome su ogni foglio, barrando trasversalmente quelli usati per la minuta.
4. Tutti i fogli utilizzati devono essere inseriti nella busta, su cui va apposta la seguente dicitura:

[Cognome e nome]	[Data]
Sez. A – Classe di Laurea [...]	
Prova Pratica	
Tema n° [...]	

Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere  
I Sessione 2016

Sez. A – Classi di Laurea LM-23 e 28/S “Ingegneria Civile” (Prova pratica – 1-07-2016)

TEMA 2



**CARATTERISTICHE FISICHE E GEOMETRICHE**

Pilastro 1-2-3 - sezione  $b=h=30$  cm - cls C25/30 - rigidezza assiale infinita

Trave 2-4 - sezione  $b=30$  cm,  $h=50$  cm - cls C25/30 - rigidezza assiale infinita

**CARICHI**

Pesi propri

$G_l=20$  kN/m - Carico permanente compiutamente definito

$Q_{kl} = 15$  kN/m - Carico caratteristico variabile (ambiente ad uso residenziale)

$Q_{kv} = 8$  kN/m - Valore caratteristico del carico vento

Considerando unicamente una combinazione di carico di tipo "fondamentale" agli SLU ai sensi delle NTC 2008, si richiede di:

1. risolvere la struttura in maniera esatta con i metodi della scienza e della tecnica delle costruzioni (è richiesto il tracciamento preciso dei diagrammi delle azioni interne e il calcolo delle reazioni vincolari);
2. dimensionare l'armatura longitudinale e a taglio in corrispondenza delle sezioni della trave e del pilastro in c.a. ritenute significative;
3. disegnare la carpenteria dei ferri (longitudinali e staffe) della trave e del pilastro in c.a.;
4. dimensionare un plinto isolato di fondazione per il pilastro;
5. (facoltativo) verificare trave e pilastro agli stati limite di esercizio.

NB: ogni dato eventualmente necessario (e.g. le caratteristiche del terreno per il dimensionamento del plinto) è a cura del candidato.

**Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere**  
**I Sessione 2016**

**Sez. A – Classi di Laurea LM-35 e 38/S “Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio”**  
**(Prova pratica – 1-07-2016)**

**Tema 1**

Si consideri un impianto di potabilizzazione (che serve un centro abitato di 65.000 abitanti) che tratta un' acqua prelevata ad una profondità di 200 m dal piano campagna con le caratteristiche qualitative indicate nella seguente tabella:

Parametro	Unità di misura	Valore
pH	-	7,2
Ammoniaca (come $\text{NH}_4^+$ )	mg/L	1,5
Nitrati (come $\text{NO}_3^-$ )	mg/L	3,5
Nitriti (come $\text{NO}_2^-$ )	mg/L	0,1
Solfati	mg/L	48
Cloruri	mg/L	35
Ferro	mg/L	0,07
Manganese	mg/L	0,11
Arsenico totale	mg/L	0,045
Antiparassitari totali	$\mu\text{g/L}$	25

Il candidato:

1. illustri, con uno schema a blocchi, la linea di trattamento idonea al rispetto dei limiti normativi;
2. giustifichi la scelta di ogni singola tecnologia di trattamento (confrontandola con altre presenti sul mercato);
3. dimensioni ogni singolo comparto (compresi eventuali contro lavaggi);
4. riporti un piano di monitoraggio per il controllo di tale filiera (punti di campionamento, modalità di campionamento, frequenza, analisi da effettuare,...)
5. elenchi tutti i fattori che influenzano i consumi energetici e gli interventi finalizzati alla loro riduzione.

Infine, nel caso servisse dimensionare un filtro su CA il candidato riporti la procedura da utilizzare per la scelta del carbone ottimale.

Note:

1. Il candidato può svolgere uno qualsiasi dei temi *nell'ambito della propria classe di Laurea*
2. La prova deve essere svolta esclusivamente su fogli bollati e siglati da un membro della commissione; l'uso di fogli diversi comporta l'annullamento della prova.
3. Il candidato dovrà *numerare progressivamente* e scrivere *cognome e nome* su ogni foglio, barrando trasversalmente quelli usati per la minuta.
4. Tutti i fogli utilizzati devono essere inseriti nella busta, su cui va apposta la seguente dicitura:

[Data]
[Cognome e nome]
Sez. A – Classe di Laurea [...]
Prova Pratica
Tema n° [...]

**Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere**  
**I Sessione 2016**

**Sez. A – Classi di Laurea LM-35 e 38/S “Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio”**  
**(Prova pratica – 1-07-2016)**

TEMA 2

Il Candidato rediga la progettazione preliminare della rete di distribuzione idrica rappresentata in figura. (Le lettere designano i nodi, mentre i numeri i tronchi della rete di distribuzione idrica).

La rete serve un'area esclusivamente residenziale di cui è nota la popolazione complessiva di progetto, pari a 2200 unità. Si suppone che la popolazione sia uniformemente distribuita lungo i tronchi della rete, ad eccezione, del tronco 1 su cui non grava alcuna popolazione.

Nel nodo di alimentazione, nodo A, sono garantite la portata massima richiesta dall'utenza e una pressione minima pari a 3 bar.

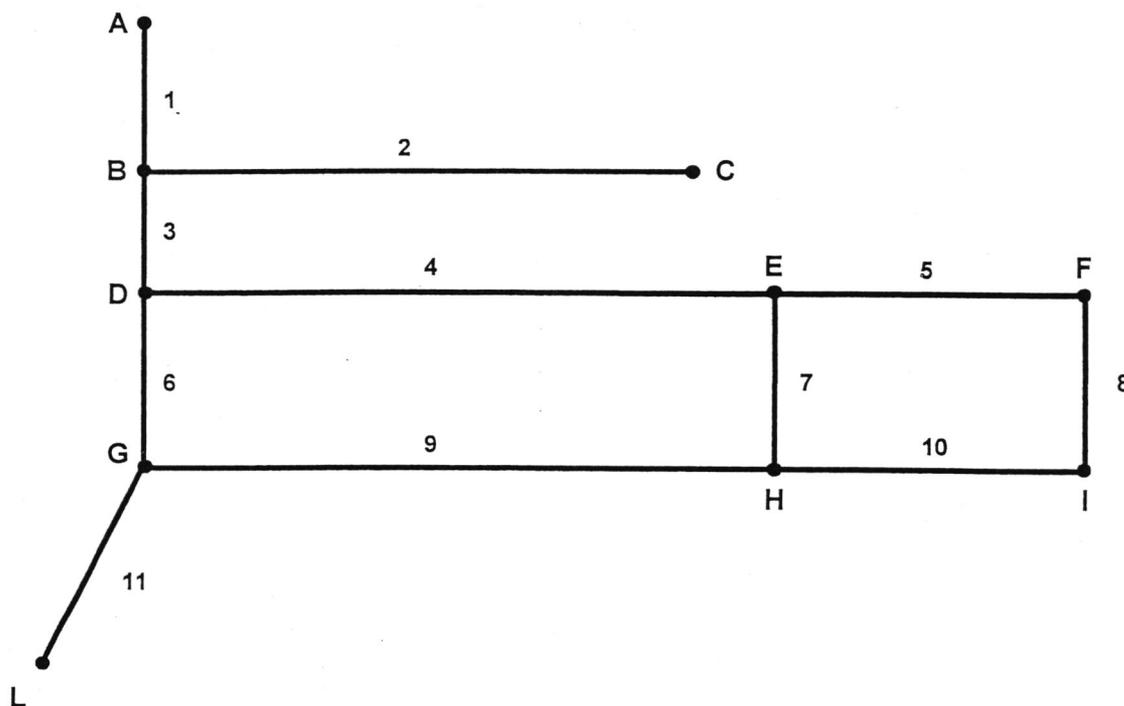
Sono note le quote geometriche dei nodi della rete che si sviluppa in un'area piuttosto pianeggiante:  $z_{gA} = 124$  m s.l.m.;  $z_{gB} = 123,5$  m s.l.m.;  $z_{gC} = 122,5$  m s.l.m.;  $z_{gD} = 123,5$  m s.l.m.;  $z_{gE} = 123$  m s.l.m.;  $z_{gF} = 123,5$  m s.l.m.;  $z_{gG} = 123,5$  m s.l.m.;  $z_{gH} = 123,5$  m s.l.m.;  $z_{gI} = 124$  m s.l.m.;  $z_{gL} = 124$  m s.l.m.

I tronchi hanno le seguenti lunghezze:  $L_1 = 140$  m;  $L_2 = 450$  m;  $L_3 = 120$  m;  $L_4 = 500$  m;  $L_5 = 200$  m;  $L_6 = 150$  m;  $L_7 = 150$  m;  $L_8 = 150$  m;  $L_9 = 500$  m;  $L_{10} = 200$  m;  $L_{11} = 200$  m.

L'altezza massima degli edifici da servire è pari a 15 m.

Il candidato fissi i dati mancanti giustificandone la scelta.

Si richiede la redazione di una relazione tecnica e degli elaborati atti a rappresentare l'intervento progettato: scelta del materiale, dimensioni delle tubazioni, sezione di posa, posizionamento delle apparecchiature di sezionamento e degli idranti antincendio, schema di un nodo.



**Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere**  
**I Sessione 2016**

**Sez. A – Classi di Laurea LM-28 “Ingegneria Elettrica” (Prova pratica 1-07-2016)**

**Tema *m. 1***

Un motore asincrono trifase della potenza nominale di  $P_n=20$  kW, alimentato da una tensione concatenata di  $V_n=380$  V, alla frequenza di **50 Hz**, funziona, in regime di pieno carico con un rendimento  $\eta=0,91$ , un fattore di potenza  $\cos\varphi=0,9$  e uno scorrimento  $s=3\%$ .

Lo statore della macchina è costituito da avvolgimenti **collegati a stella** che formano **tre coppie polari**; il rotore è a gabbia.

È noto che allo spunto, con tensione e frequenza di alimentazione nominali la corrente assorbita dal motore è pari a 5,8 volte il valore assorbito in condizioni nominali.

Nel suo servizio il motore deve avviare un carico che presenta una coppia allo spunto pari a  $C_{sp}=80$  Nm.

**A.**

Per limitare la corrente assorbita allo spunto si può disporre di un autotrasformatore che abbassi adeguatamente la tensione ai morsetti della macchina.

Si stabiliscano:

- i) il valore della corrente assorbita e della coppia fornita nel funzionamento nominale;
- ii) il valore della tensione necessaria per consentire l'avviamento del motore a corrente di spunto ridotta, con il carico indicato;
- iii) il valore della potenza dell'autotrasformatore, tenendo conto del particolare tipo di servizio, e il valore del rapporto di trasformazione a vuoto, tenendo conto di un valore accettabile di caduta di tensione interna.

**B.**

Si deve impiegare il motore descritto in precedenza per la regolazione di portata di una pompa, la cui caratteristica di carico corrisponde, in termini di coppia richiesta all'albero, ai valori di spunto e nominali indicati nel punto precedente. A tale scopo si ritiene utile l'impiego di un inverter per alimentare il motore a velocità variabile.

- i) si illustrino in termini generali i vantaggi ottenibili in questo caso dall'impiego di un azionamento a velocità variabile, rispetto alla soluzione con alimentazione diretta dalla rete a frequenza fissa;
- ii) si stabiliscano le modalità di alimentazione del motore allo spunto con l'impiego dell'inverter (valori di tensione e frequenza allo spunto);
- iii) si dia una valutazione di massima del dimensionamento richiesto per il motore qualora sia alimentato dall'inverter.

**N.B.** Per la risoluzione del tema si adottino di volta in volta le semplificazioni ritenute opportune o necessarie in base ai dati forniti.

# Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere

## I Sessione 2016

Sez. A – Classi di Laurea LM-28 “Ingegneria Elettrica” (Prova pratica 1-07-2016)

### Tema n. 2

Si consideri la rete di distribuzione radiale rappresentata nella figura allegata. La parte in media tensione (MT) è esercita con neutro isolato; la parte in bassa tensione (BT) ha il neutro francamente a terra. I dati sono parzialmente riportati in figura. Si precisa inoltre quanto segue.

I carichi C1, C2, C3 e C4 sono equilibrati e induttivi.

L'utente allacciato al punto di consegna E assorbe la potenza di 60 kW con fattore di potenza 0,9.

Le linee MT sono tutte in cavo tripolare con conduttori in rame (con posa in tubo interrato), tranne la linea L2 che è aerea; le linee BT sono realizzate con cavi unipolari in rame posati in aria libera.

Le linee MT in cavo presentano una capacità verso terra (capacità alla sequenza omopolare) che si può assumere pari a 250 nF/km e hanno uno sviluppo complessivo di 50 km.

La linea aerea L2 è in corda di rame di sezione 120 mm<sup>2</sup> e diametro 14,25 mm, è lunga 10 km e si può considerare simmetrica; inoltre la distanza geometrica media tra i conduttori è pari a 1 m e la distanza media dei conduttori dal suolo è di 9 m.

La corrente di corto circuito trifase simmetrico alle sbarre A è pari a 12 kA.

La caduta di tensione (c.d.t.) ammissibile per le linee MT è del 4%; per le linee BT è invece del 2%. Per il dimensionamento col criterio della massima c.d.t. ammissibile si assuma che la temperatura raggiunta dai cavi sia pari a 60 °C.

#### SI CHIEDE DI

1. Dimensionare la linea L1 (in cavo MT) col criterio della massima c.d.t. ammissibile; scegliere la sezione dei conduttori con riferimento ai valori normalizzati; verificare che il dimensionamento sia compatibile con la portata del cavo (eventualmente valutata utilizzando i criteri validi per i cavi BT e applicando un'ulteriore riduzione della portata con il coefficiente 0,98).
2. Dimensionare la linea l1 (in cavo BT) col criterio della temperatura massima di funzionamento (criterio termico); verificare che sia anche rispettato il valore della c.d.t. ammissibile.
3. Calcolare la portata della linea L2 (aerea in MT) assumendo condizioni di assenza di vento e temperatura ambiente di 40 °C.
4. Calcolare la corrente di corto circuito trifase simmetrico per guasto nel punto di consegna E.
5. Calcolare la corrente di corto circuito monofase a terra (con impedenza di guasto nulla) per guasto nel nodo 1 (punto di alimentazione del carico C1).

Il candidato assuma in modo opportuno i dati eventualmente necessari per completare il calcolo, specificando in modo completo le condizioni di posa e le caratteristiche elettriche di ciascuna delle condutture.

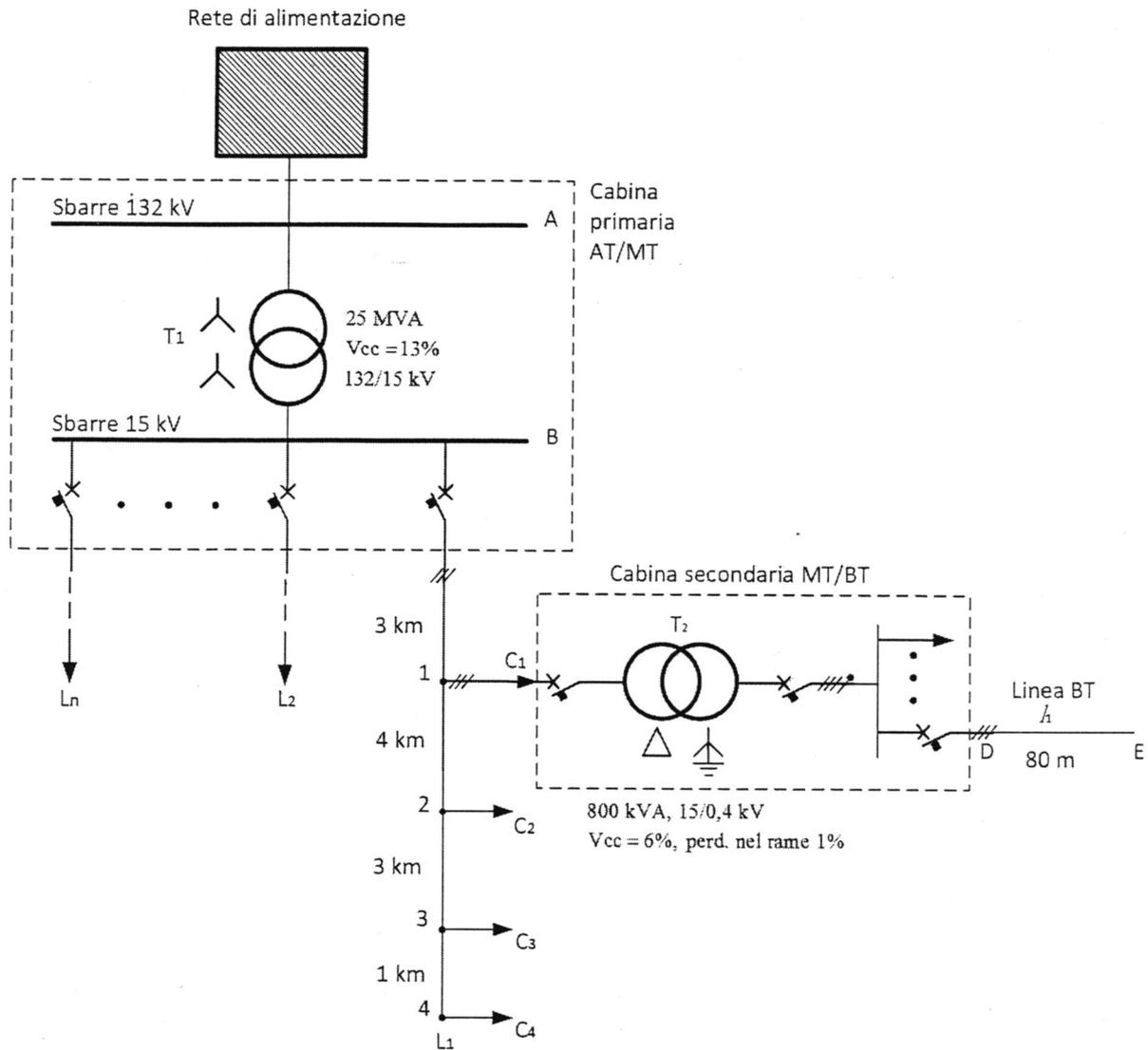


Tabella dei carichi		
C <sub>1</sub>	0,7 MW	cosφ=0,9
C <sub>2</sub>	3 MW	cosφ=0,95
C <sub>3</sub>	2 MW	cosφ=0,9
C <sub>4</sub>	1 MW	cosφ=0,85

NOTE

1. La prova deve essere svolta esclusivamente su fogli bollati e siglati da un membro della commissione; l'uso di fogli diversi comporta l'annullamento della prova.
2. Il candidato dovrà *numerare progressivamente* e scrivere *cognome e nome* su ogni foglio, barrando trasversalmente quelli usati per la minuta.
3. Tutti i fogli utilizzati devono essere inseriti nella busta, su cui va apposta la seguente dicitura:

[Data]
[Cognome e nome]
Sez. A – Classe di Laurea [...]
Prova Pratica
Tema n° [...]

# Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere I Sessione 2016

Sez. A – Classe di Laurea LM-21 “Ingegneria Biomedica” (Prova pratica – 1-07-2016)

## Tema 1

Il cellulare, negli ultimi anni, è diventato uno strumento utile per monitorare lo stato di salute di una persona. Ad esempio apposite APP possono contare i passi durante l'arco della giornata, possono valutare la saturazione di ossigeno e misurare la frequenza cardiaca, oppure consentono uno scambio di informazioni tra paziente e medico curante.

Il candidato scelga una delle precedenti applicazioni, discuta le problematiche legate alla sua concreta realizzazione, e indichi le linee di un progetto di massima che sfrutti al meglio le caratteristiche dei moderni apparecchi cellulari e l'impiego dei sensori in essi contenuti.

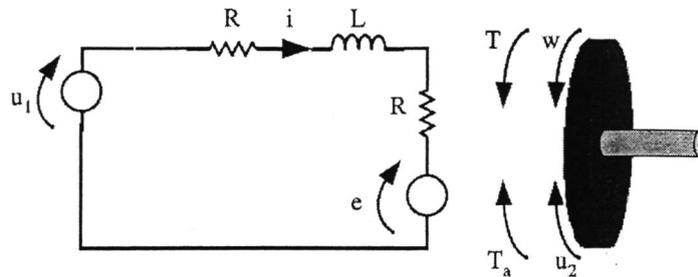
Note:

1. Il candidato può svolgere uno qualsiasi dei temi *nell'ambito della propria classe di Laurea*
2. La prova deve essere svolta esclusivamente su fogli bollati e siglati da un membro della commissione; l'uso di fogli diversi comporta l'annullamento della prova.
3. Il candidato dovrà *numerare progressivamente* e scrivere *cognome e nome* su ogni foglio, barrando trasversalmente quelli usati per la minuta.
4. Tutti i fogli utilizzati devono essere inseriti nella busta, su cui va apposta la seguente dicitura:

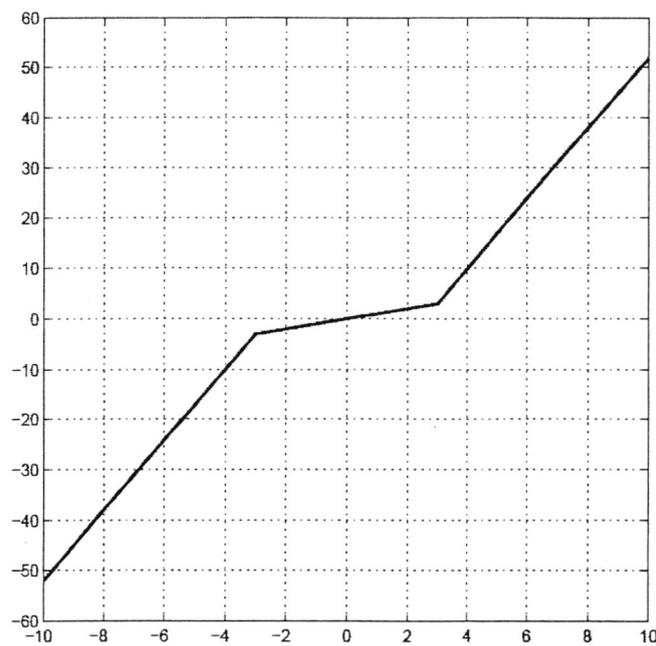
[Cognome e nome]	[Data]
Sez. A – Classe di Laurea [...]	
Prova Pratica	
Tema n° [...]	

## TEMA 2

Si consideri il motore in corrente continua descritto dall'accoppiamento del circuito equivalente d'armatura e del rotore rappresentati in figura:



dove  $w$  è la velocità angolare del rotore misurata in  $rad/s$ ,  $J = 2Kg \cdot m^2$  è il momento di inerzia del rotore,  $u_2$  è una coppia di disturbo (misurata in  $N \cdot m$ ) e  $T_a = f(w)$  è una coppia di attrito. La funzione  $f(w)$  è lineare a tratti ed è rappresentata nella figura seguente:



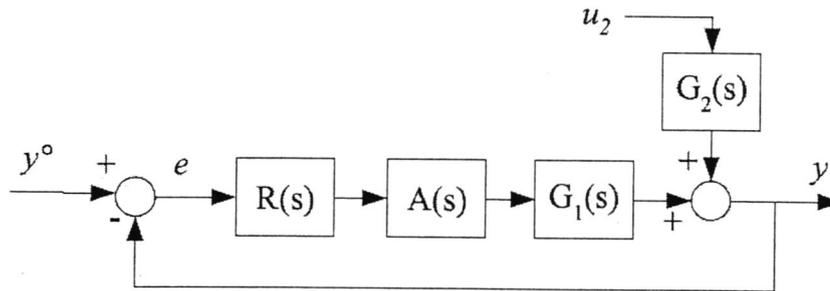
Si noti che per valori di velocità angolare  $w \in [-3, 3]$  la pendenza è pari a 1 mentre altrove è di 7. I parametri del circuito sono  $R = 2\Omega$  e  $L = 0.5H$ . Infine, l'accoppiamento tra la parte elettrica e quella meccanica è descritto dalle relazioni  $T = k_T i$  e  $e = k_e w$  ove  $k_T = 150 Nm/A$  e  $k_e = \frac{8}{150} Vs$ .

1. Verificare che le equazioni

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -f(x_1) + 150x_2 - u_2 \\ \dot{x}_2 = -x_2 - \frac{8}{150}x_1 + u_1 \\ y = x_1 \end{cases} \quad (1)$$

forniscono una descrizione in variabili di stato del sistema con ingressi  $u_1, u_2$  ed uscita  $y = w$ .

2. Si determini lo stato di equilibrio del sistema (1) corrispondente agli ingressi costanti  $u_1 = \frac{4}{15}, u_2 = 0, \forall t \geq 0$  e si ricavino le equazioni del sistema linearizzato nell'intorno dell'equilibrio.
3. Utilizzando il sistema linearizzato trovato al punto precedente, si ricavino le funzioni di trasferimento  $G_1(s)$  e  $G_2(s)$  tali che  $Y(s) = G_1(s)U_1(s) + G_2(s)U_2(s)$ .
4. Con riferimento alle funzioni di trasferimento ricavate al punto precedente, si consideri il sistema di controllo riportato in figura



ove la funzione di trasferimento  $A(s) = \frac{1}{\frac{s}{30} + 1}$  rappresenta un attuatore.

- 4.1 Si assuma  $R(s) = k$  e si determinino tutti i valori di  $k \in \mathbb{R}$  che rendono il sistema di controllo asintoticamente stabile.
- 4.2 Progettare il regolatore  $R(s)$  in modo che
  - (a) l'errore a transitorio esaurito sia nullo in corrispondenza del disturbo  $u_2(t) = \text{sca}(t)$ ;
  - (b) il margine di fase  $\phi_m$  verifichi  $\phi_m \geq 45^\circ$  anche quando la funzione di trasferimento  $G_1(s)$  è affetta da un ritardo di valore massimo pari a  $0.01 s$ ;
  - (c) la banda passante del sistema in anello chiuso sia maggiore o uguale a  $10 \text{ rad/s}$ ;
  - (d) un disturbo  $u_2(t) = \sin(\omega t)$ ,  $\omega \leq 3 \text{ rad/s}$  sia attenuato sull'uscita a regime di un fattore almeno pari a 10.
5. Discutere l'implementazione digitale del controllore  $R(s)$  progettato al punto 4.2.
6. Con riferimento al sistema linearizzato ricavato al punto 2 si assuma che lo stato sia misurabile e che  $u_2(t) = 0, t \geq 0$ . Si progetti uno schema di controllo ottimo lineare quadratico ad orizzonte infinito. In particolare:
  - si disegni lo schema di controllo;
  - si scriva il funzionale di costo;
  - si mostri come calcolare il guadagno, specificando le ipotesi necessarie.

**Esame di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere**  
**I Sessione 2016**

Sez. A – Classe di Laurea LM-32 “Ingegneria Informatica” (Prova pratica – 1-07-2016)

**Tema 1**

Si progetti un sito web dinamico per la memorizzazione e l'elaborazione di immagini. Il sito dovrà permettere l'upload e il download di immagini e l'esecuzione (lato server) di alcune primitive di elaborazione delle immagini da parte di utenti autorizzati. Si dovrà prevedere un livello sufficiente di sicurezza (sia fisica, che software) per i dati.

1. Si descriva la struttura generale del progetto.
2. Si dimensiona in maniera opportuna la memoria del sistema considerando il numero di utenti e la dimensione del database di immagini.
3. Si descrivano le modalità di interazione dei servizi di rete.
4. Si proponga una possibile interfaccia utente del sistema proposto.
5. Si mostri in dettaglio almeno una delle componenti software.
6. Si proponga una modalità per l'esecuzione dell'elaborazione remota.
7. Si cerchi di rendere il sistema scalabile al crescere del traffico di rete.

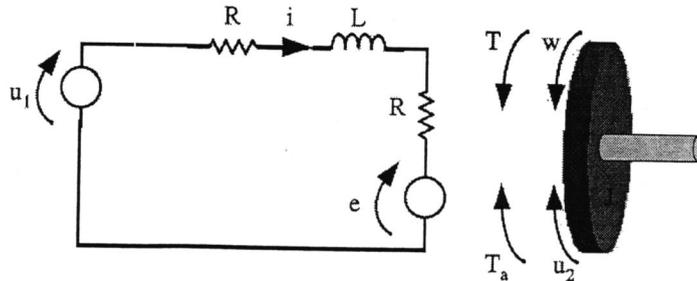
Note:

1. Il candidato può svolgere uno qualsiasi dei temi *nell'ambito della propria classe di Laurea*
2. La prova deve essere svolta esclusivamente su fogli bollati e siglati da un membro della commissione; l'uso di fogli diversi comporta l'annullamento della prova.
3. Il candidato dovrà *numerare progressivamente* e scrivere *cognome e nome* su ogni foglio, barrando trasversalmente quelli usati per la minuta.
4. Tutti i fogli utilizzati devono essere inseriti nella busta, su cui va apposta la seguente dicitura:

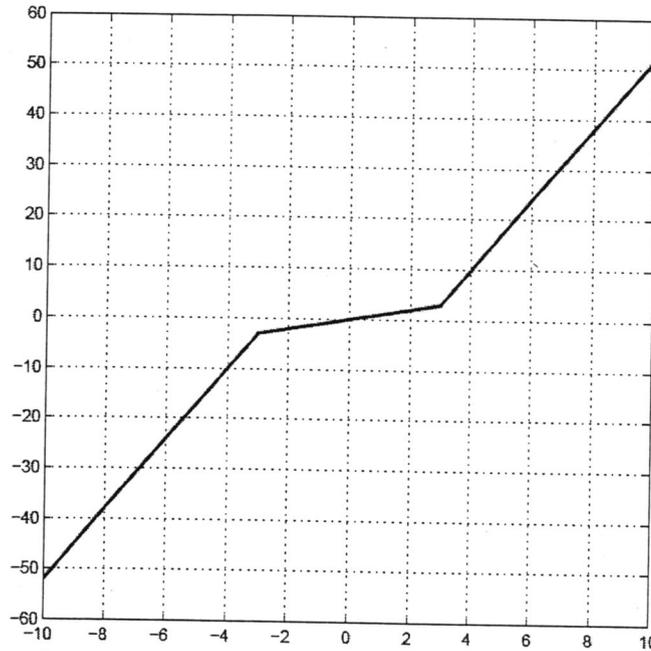
[Data]
[Cognome e nome]
Sez. A – Classe di Laurea [...]
Prova Pratica
Tema n° [...]

## TEMA 2

Si consideri il motore in corrente continua descritto dall'accoppiamento del circuito equivalente d'armatura e del rotore rappresentati in figura:



dove  $w$  è la velocità angolare del rotore misurata in  $rad/s$ ,  $J = 2Kg \cdot m^2$  è il momento di inerzia del rotore,  $u_2$  è una coppia di disturbo (misurata in  $N \cdot m$ ) e  $T_a = f(w)$  è una coppia di attrito. La funzione  $f(w)$  è lineare a tratti ed è rappresentata nella figura seguente:



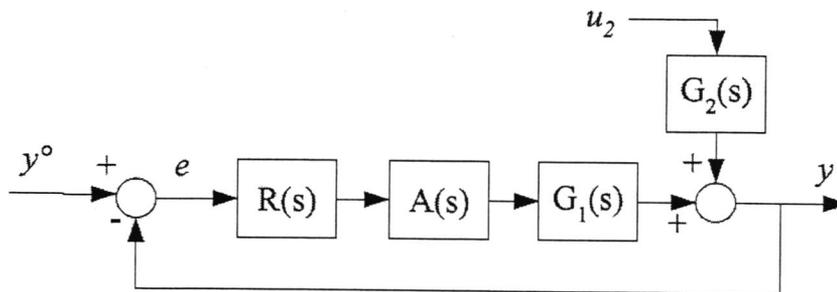
Si noti che per valori di velocità angolare  $w \in [-3, 3]$  la pendenza è pari a 1 mentre altrove è di 7. I parametri del circuito sono  $R = 2\Omega$  e  $L = 0.5H$ . Infine, l'accoppiamento tra la parte elettrica e quella meccanica è descritto dalle relazioni  $T = k_T i$  e  $e = k_e w$  ove  $k_T = 150Nm/A$  e  $k_e = \frac{8}{150}Vs$ .

1. Verificare che le equazioni

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -f(x_1) + 150x_2 - u_2 \\ \dot{x}_2 = -x_2 - \frac{8}{150}x_1 + u_1 \\ y = x_1 \end{cases} \quad (1)$$

forniscono una descrizione in variabili di stato del sistema con ingressi  $u_1, u_2$  ed uscita  $y = w$ .

2. Si determini lo stato di equilibrio del sistema (1) corrispondente agli ingressi costanti  $u_1 = \frac{4}{15}, u_2 = 0, \forall t \geq 0$  e si ricavino le equazioni del sistema linearizzato nell'intorno dell'equilibrio.
3. Utilizzando il sistema linearizzato trovato al punto precedente, si ricavino le funzioni di trasferimento  $G_1(s)$  e  $G_2(s)$  tali che  $Y(s) = G_1(s)U_1(s) + G_2(s)U_2(s)$ .
4. Con riferimento alle funzioni di trasferimento ricavate al punto precedente, si consideri il sistema di controllo riportato in figura



ove la funzione di trasferimento  $A(s) = \frac{1}{\frac{s}{30} + 1}$  rappresenta un attuatore.

- 4.1 Si assuma  $R(s) = k$  e si determinino tutti i valori di  $k \in \mathbb{R}$  che rendono il sistema di controllo asintoticamente stabile.
- 4.2 Progettare il regolatore  $R(s)$  in modo che
  - (a) l'errore a transitorio esaurito sia nullo in corrispondenza del disturbo  $u_2(t) = \text{sca}(t)$ ;
  - (b) il margine di fase  $\phi_m$  verifichi  $\phi_m \geq 45^\circ$  anche quando la funzione di trasferimento  $G_1(s)$  è affetta da un ritardo di valore massimo pari a  $0.01 \text{ s}$ ;
  - (c) la banda passante del sistema in anello chiuso sia maggiore o uguale a  $10 \text{ rad/s}$ ;
  - (d) un disturbo  $u_2(t) = \sin(\omega t), \omega \leq 3 \text{ rad/s}$  sia attenuato sull'uscita a regime di un fattore almeno pari a 10.
5. Discutere l'implementazione digitale del controllore  $R(s)$  progettato al punto 4.2.
6. Con riferimento al sistema linearizzato ricavato al punto 2 si assuma che lo stato sia misurabile e che  $u_2(t) = 0, t \geq 0$ . Si progetti uno schema di controllo ottimo lineare quadratico ad orizzonte infinito. In particolare:
  - si disegni lo schema di controllo;
  - si scriva il funzionale di costo;
  - si mostri come calcolare il guadagno, specificando le ipotesi necessarie.