



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA**  
**Facoltà di Ingegneria**

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE  
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

**SEZIONE A** - Seconda sessione 2014

**PRIMA PROVA SCRITTA DEL 19 novembre 2014**

**SETTORE INDUSTRIALE**

Tema n. 1:

Il candidato descriva i motori elettrici in commercio contestualizzando le principali applicazioni nei differenti ambiti in cui opera l'automazione industriale e descrivendone l'evoluzione subita negli anni.

Tema n. 2:

Le metodologie per la caratterizzazione di materiali e/o di manufatti possono presentare differenze significative a seconda dei vari ambiti di indagine, riassumibili come:

- controllo della qualità;
- generazione di dati utili per la progettazione o per la ricerca e lo sviluppo;
- predizione del comportamento in condizioni di esercizio;
- individuazione dei motivi di cedimento o perdita di funzionalità ("failure analysis").

Il candidato illustri, aiutandosi con esempi e riferimenti a casi pratici, i differenti approcci sperimentali da mettere in pratica in ciascuno di questi ambiti e descriva la natura delle proprietà misurate.

Tema n. 3:

Il Candidato descriva le principali fonti energetiche rinnovabili per la produzione di energia elettrica con particolare riferimento ai sistemi idroelettrici e ai sistemi fotovoltaici. Si sviluppi l'analisi anche in relazione all'efficienza energetica e all'impatto ambientale.

Tema n.4:

Con riferimento ad un generico processo produttivo, il candidato illustri, facendo anche alcuni esempi, il concetto di uso sostenibile delle risorse naturali.

Tema n.5:

Il Candidato descriva e discuta i metodi di simulazione numerica per lo studio fluidodinamico di strutture. Si faccia particolare riferimento all'affidabilità e alle limitazioni di tali sistemi.



## UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE  
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

SEZIONE A - Seconda sessione 2014

### **SECONDA PROVA SCRITTA DEL 2 dicembre 2014**

#### **SETTORE INDUSTRIALE**

**(classi di laurea appartenenti al settore:**

**LM/25 - Ingegneria dell'automazione; LM/31 - Ingegneria gestionale; 36/S e LM/33 - Ingegneria meccanica; 25/S - Ingegneria Aerospaziale e Astronautica)**

Tema n. 1 (classi: LM/25 - Ingegneria dell'automazione, 36/S e LM/33 - Ingegneria meccanica, 25/S - Ingegneria Aerospaziale e Astronautica):

Facendo riferimento ad esempi specifici nell'ambito delle deformazioni plastiche, il candidato illustri le problematiche di carattere statico e dinamico connesse con il sistema di movimentazione di una pressa meccanica ad eccentrico o a ginocchiera.

Tema n. 2 (classi 36/S, LM 33 - Ingegneria Meccanica)

Nella progettazione di componenti meccanici in materiale polimerico grande attenzione dovrebbe essere rivolta alle problematiche che una sollecitazione meccanica mantenuta nel tempo, statica o dinamica, e in presenza di specifiche condizioni ambientali, può avere sulla stabilità dimensionale e sulla resistenza del manufatto. Il candidato illustri le principali caratteristiche della risposta di un materiale polimerico sottoposto a questo tipo di sollecitazione meccanica, e, aiutandosi con esempi pratici, ne descriva le implicazioni a livello di comportamento in condizioni di esercizio e le possibili strategie per un dimensionamento mirato.

Tema n. 3 (classi 36/S, LM 33 - Ingegneria Meccanica), LM/25 - Ingegneria dell'automazione

Il Candidato analizzi e descriva le principali caratteristiche di un impianto a vapore per la produzione di energia elettrica. Il candidato discuta inoltre le differenze tra un ciclo a vapor d'acqua e un ciclo ORC evidenziando vantaggi e svantaggi delle due tipologie.

Tema n. 4 (classe LM/31 - Ingegneria gestionale)

Con riferimento ad una generica attività produttiva, il candidato definisca un set di prestazioni che è opportuno tenere monitorate, ne fornisca la definizione e le modalità di misura e indichi le possibili strategie da adottare per un loro miglioramento.

Tema n. 5 (classi 36/S, LM 33 - Ingegneria Meccanica, 25/S - Ingegneria Aerospaziale e Astronautica):

Si descrivano le principali caratteristiche termodinamiche e impiantistiche di un turbogetto per applicazione aeronautica. Inoltre si indichino, a grandi linee, i criteri di dimensionamento.



## UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE  
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

SEZIONE A - Seconda sessione 2014

### PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 15 gennaio 2015

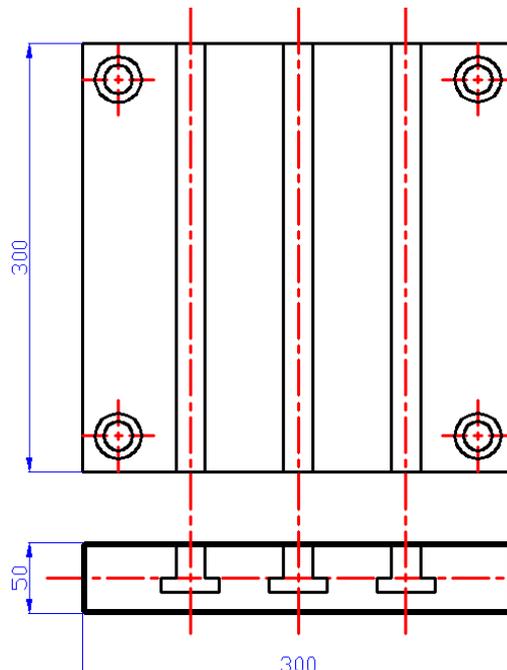
#### SETTORE INDUSTRIALE

(classi di laurea appartenenti al settore:

LM/25 - Ingegneria dell'automazione; LM/31 - Ingegneria gestionale; 36/S e LM/33 - Ingegneria meccanica; 25/S - Ingegneria Aerospaziale e Astronautica)

**Tema n. 1 (classi: 36/S e LM/33 - Ingegneria meccanica, LM/25 - Ingegneria dell'automazione; LM/31 - Ingegneria gestionale)**

Il candidato, dopo aver eseguito la messa in tavola del componente riportato in Figura 1 (piano di riscontro con scanalature per fissaggio pezzi), correggendo e completando il disegno tecnico, scriva il ciclo di lavorazione necessario per realizzare il componente partendo da un grezzo costituito da un parallelepipedo in acciaio C60 di dimensioni 310mm x 310mm x 60mm ottenuto da fusione in terra.



Smussi non quotati  $2 \times 45^\circ$   
Raggi non quotati 0.8

**Fig. 1. Pezzo, dimensioni in mm**

In particolare si richiede:

1. di individuare le tecnologie adeguate alla realizzazione delle superfici del pezzo;
2. di selezionare gli utensili indicandone i relativi codici;
3. di selezionare in modo adeguato i parametri di lavorazione;
4. di verificare che le lavorazioni siano eseguibili ed eventualmente apportare gli accorgimenti necessari affinché le verifiche diano esito positivo;
5. di stendere i relativi cartellini e fogli analisi.

In seguito, trascurando in prima approssimazione i fenomeni di smorzamento e utilizzando i dati riportati in Tabella 1, si chiede al candidato di calcolare le frequenze proprie relative alle vibrazioni torsionali del mandrino durante la fase di sgrossatura della superficie superiore.

**Dati**

Lunghezza mandrino [mm]	600
Materiale	Acciaio legato
Diametro interno mandrino [mm]	40
Diametro fresa [mm]	200
Altezza fresa [mm]	20

Per eventuali dati non forniti il candidato faccia una proposta motivando in modo esaustivo la scelta condotta.



## UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE  
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

SEZIONE A - Seconda sessione 2014

### PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 15 gennaio 2015

#### SETTORE INDUSTRIALE

(classi di laurea appartenenti al settore:

**LM/25 - Ingegneria dell'automazione; LM/31 - Ingegneria gestionale; 36/S e LM/33 - Ingegneria meccanica; 25/S - Ingegneria Aerospaziale e Astronautica)**

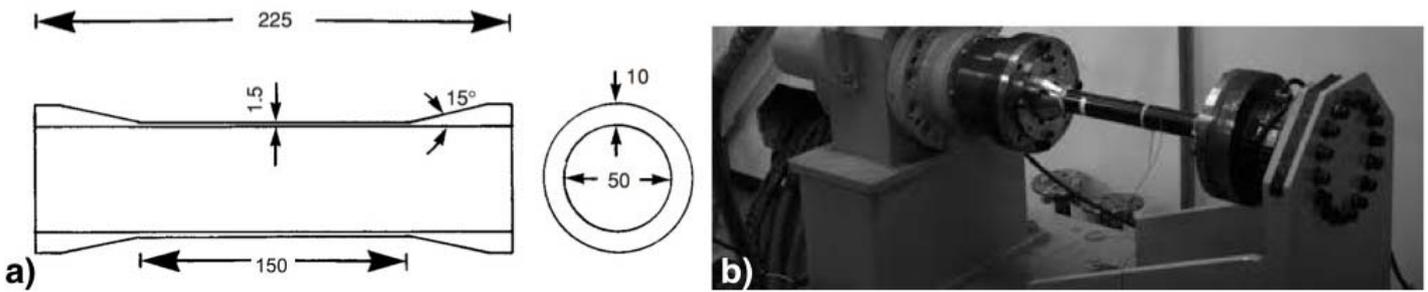
**Tema n. 2 (classi: LM/25 - Ingegneria dell'automazione; 36/S e LM/33 - Ingegneria meccanica; 25/S - Ingegneria Aerospaziale e Astronautica)**

Si vuole caratterizzare la resistenza di un laminato in materiale composito sottoposto ad una sollecitazione multiassiale. Il laminato è stato realizzato a partire da “pre-preg” in resina epossidica rinforzata con fibre di carbonio di tipo unidirezionale (UD: HexPly M18/1 UD 42% G947) e di tipo biassiale (BIAX: HexPly M18/1 Woven 43% G939), le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1. I provini sono assemblati mediante laminazione manuale seguita da una compressione a caldo, secondo una geometria di tipo tubolare, rappresentata schematicamente in Figura 1a (grandezze in mm). Il laminato è costituito da 8 lamine impilate con sequenza simmetrica  $[+45^\circ\text{BIAX}/+45^\circ\text{BIAX}/0^\circ\text{UD}/90^\circ\text{UD}]_s$ . Si consideri il laminato scarico nel suo stato non deformato alla temperatura di test ( $25^\circ\text{C}$ ) e si assumano i valori di spessore riportati in tabella per i “pre-preg” a valle del processo di compressione in temperatura. I test da eseguire saranno svolti utilizzando un macchinario e dei provini simili a quelli utilizzati in Figura 1b, in grado di applicare simultaneamente un momento torcente e uno spostamento assiale; si consideri la sola porzione centrale del provino a spessore sottile come interessata allo stato di sforzo applicato dal macchinario.

Volendo sollecitare a trazione il campione fino a rottura in presenza di un momento torcente applicato di 1000 Nm, e disponendo di celle di carico di diversa capacità (10 kN; 50 kN; 100 kN) si chiede al candidato di:

- indicare quale/i cella/e di carico utilizzare per assistere alla “first-ply failure”;
- indicare se con tale/i cella/e di carico è possibile arrivare a rottura completa del laminato, sotto l'ipotesi di completo degrado meccanico delle lamine intercorse in “first-ply failure” (ovvero  $[Q] = [0]$  per le lamine danneggiate);
- descrivere i più probabili meccanismi di rottura che interessano il laminato nei vari stadi di danneggiamento del campione e le difficoltà che potrebbero essere incontrate nella realizzazione del test; si descriva inoltre l'importanza di eseguire questo tipo di test nella caratterizzazione di manufatti in materiale composito;

- si discuta infine della possibilità di applicare uno sforzo di tipo circonferenziale dell'entità media di 250 MPa e delle possibili implicazioni della presenza di tale sforzo sulla resistenza del provino.



**Figura 1:** Rappresentazione schematica dei campioni (a) e del macchinario di prova (b).

**Tabella 1:** Caratteristiche fisiche e meccaniche delle lamine

Pre-preg HexPly M18/1 UD 42% G947			
CARATTERISTICHE FISICHE DELLA LAMINA			
frazione volumetrica nominale della fibra		42%	
spessore della lamina dopo curing		0.125 mm	
RIGIDEZZA MECCANICA		RESISTENZA MECCANICA	
Modulo elastico longitudinale, $E_1$	130 GPa	Resistenza a trazione longitudinale, $X_T$	1750 MPa
Modulo elastico longitudinale, $E_2$	10 GPa	Resistenza a compressione longitudinale, $X_C$	1200 MPa
Modulo elastico a taglio, $G_{12}$	7 GPa	Resistenza a trazione trasversale, $Y_T$	55 MPa
Rapporto di Poisson maggiore, $\nu_{12}$	0.28	Resistenza a compressione trasversale, $Y_C$	220 MPa
Rapporto di Poisson minore, $\nu_{21}$	0.0215	Resistenza a taglio, $S$	95 MPa

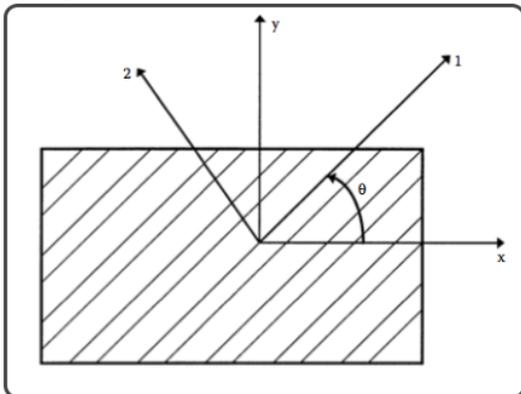
**Pre-preg HexPly M18/1 Woven 43% G939**

**CARATTERISTICHE FISICHE DELLA LAMINA**

frazione volumetrica nominale della fibra		43%	
spessore della lamina dopo curing		0.250 mm	
<b>RIGIDEZZA MECCANICA</b>		<b>RESISTENZA MECCANICA</b>	
Modulo elastico longitudinale, E <sub>1</sub>	60 GPa	Resistenza a trazione longitudinale, X <sub>T</sub>	800 MPa
Modulo elastico longitudinale, E <sub>2</sub>	60 GPa	Resistenza a compressione longitudinale, X <sub>C</sub>	800 MPa
Modulo elastico a taglio, G <sub>12</sub>	5 GPa	Resistenza a trazione trasversale, Y <sub>T</sub>	800 MPa
Rapporto di Poisson maggiore, ν <sub>12</sub>	0.14	Resistenza a compressione trasversale, Y <sub>C</sub>	800 MPa
Rapporto di Poisson minore, ν <sub>21</sub>	0.14	Resistenza a taglio, S	100 MPa

*Richiamo alle operazioni di rotazione delle matrici di rigidezza, sforzo e deformazione:*

▶ **angolo di rotazione**



▶ **trasformazione di sforzi e deformazioni**

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix} = [T]^{-t} \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = [T]^t \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{bmatrix}$$

▶ **matrici di trasformazione**

$$[T] = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2sc \\ s^2 & c^2 & -2sc \\ -sc & sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix}$$

$$[T]^{-1} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & -2sc \\ s^2 & c^2 & 2sc \\ sc & -sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix}$$

$c = \text{Cos}(\theta) \quad s = \text{Sin}(\theta)$

▶ **trasformazione delle matrici**

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = [T]^{-1} [Q] [T]^{-t} \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

$$[Q] = [T] [\bar{Q}] [T]^t \quad [\bar{Q}] = [T]^{-1} [Q] [T]^{-t}$$

$$[S] = [T]^{-t} [\bar{S}] [T]^{-1} \quad [\bar{S}] = [T]^t [S] [T]$$

**Operazione per l'inversione di matrice ai fini del calcolo delle matrici di rigidità e cedevolezza:**

Per matrici del tipo:

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & 0 \\ C_{12} & C_{22} & 0 \\ 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix}$$

la matrice inversa,

$$[C]^{-1} = [C'] = \begin{bmatrix} C'_{11} & C'_{12} & 0 \\ C'_{12} & C'_{22} & 0 \\ 0 & 0 & C'_{66} \end{bmatrix}$$

può essere ottenuta attraverso le seguenti identità:

$$\begin{aligned} C'_{11} &= C_{22} / (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12} \cdot C_{12}) \\ C'_{22} &= C_{11} / (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12} \cdot C_{12}) \\ C'_{12} &= -C_{12} / (C_{11} \cdot C_{22} - C_{12} \cdot C_{12}) \\ C'_{66} &= 1 / C_{66} \end{aligned}$$



## UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE  
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

SEZIONE A - Seconda sessione 2014

### PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 15 gennaio 2015

#### SETTORE INDUSTRIALE

(classi di laurea appartenenti al settore:

**LM/25 - Ingegneria dell'automazione; LM/31 - Ingegneria gestionale; 36/S e LM/33 - Ingegneria meccanica; 25/S - Ingegneria Aerospaziale e Astronautica)**

**Tema n. 3 (classe LM/31 - Ingegneria gestionale)**

La Montoespedisco S.p.A. è un'azienda operante nel settore delle apparecchiature elettroniche. Attualmente l'azienda produce una linea di e-book reader denominata EB1. Dato che i prodotti di tale linea sono giunti alla fase di maturità del proprio ciclo di vita, l'azienda sta valutando l'opportunità di introdurre una nuova linea di prodotto denominata EB2, con caratteristiche particolarmente innovative.

A tal fine vi incarica di condurre uno studio di fattibilità dell'iniziativa sulla base delle informazioni di seguito riportate.

Per l'avvio della nuova linea è necessario allestire una linea di assemblaggio in parte automatizzata ed in parte con postazioni di lavoro manuali ed acquisire nuovi spazi in cui installare la linea. L'investimento necessario è pari a 2.500.000€ Ai fini della valutazione si ipotizzi di effettuare un ammortamento fiscale dell'investimento in 4 anni e che l'esborso di denaro avvenga per 1.000.000€ subito e la parte restante un anno dopo. Alla fine della vita utile la linea potrà essere dismessa e si prevede che possa avere un valore di mercato pari a 60.000€ Dalle analisi di mercato condotte la Montoespedisco S.p.A. ritiene di poter avere i seguenti volumi di vendita della nuova linea di prodotti:

Anno	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Volume di vendita atteso [pezzi]	1200	1600	2000	2100	2000	2000

Per il funzionamento della linea risulta inoltre necessario l'impiego di 4 addetti. Di questi, due deriverebbero da nuova assunzione ed il contratto a termine per loro pensato prevede una retribuzione lorda di 22.000€ Gli altri due si prevede che possano provenire da un'altra linea di produzione sulla quale sono previsti degli interventi di automazione che comporterebbero un esubero del personale attualmente impiegato e ciò consentirebbe di evitare il loro licenziamento. Per tali addetti il contratto di lavoro prevede una retribuzione annua lorda di 25.000€

Per tutti e 4 gli addetti sarà necessario prevedere l'erogazione di un corso di formazione specifico per l'apprendimento delle idonee modalità di lavoro sulla nuova linea di produzione. Per tale corso è prevista una spesa di 5.000€

Ai fini dell'avvio dell'attività produttiva è inoltre necessario provvedere, nel 2015, alla costituzione di capitale circolante per un ammontare totale pari a 50.000€

Si prevede che il prezzo di vendita del nuovo prodotto sia pari a 800€e che gli altri costi di produzione siano pari a 250€/pezzo.

A causa dell'introduzione sul mercato del nuovo prodotto si ritiene che le vendite della vecchia linea di prodotto EB1 possano subire una riduzione e che possa quindi anche essere necessario ridurre la produzione di tali EB1. Attualmente non sono ancora state fatte delle stime precise di tale fenomeno. Vi viene però chiesto di indicare quali sono le informazioni che sarebbe necessario raccogliere al fine di poter considerare anche tale effetto nella vostra valutazione, di ipotizzare dei valori ragionevoli per tali informazioni e di utilizzare tali valori per effettuare la valutazione richiesta.

Ai fini della valutazione si consideri inoltre che la Montoespedisco S.p.A. non ha a disposizione tutto il capitale per effettuare l'investimento e dovrà ricorrere ad un prestito per il 40% dell'investimento, da restituire in 3 anni al 4,2% di interesse.

Sulla base delle informazioni riportate il candidato effettui una valutazione economica dettagliata dell'investimento che la Montoespedisco S.p.A. ha intenzione di fare.

Il candidato, in qualità di consulente della Montoespedisco S.p.A., stimi inoltre il compenso che ritiene di dover chiedere alla Montoespedisco S.p.A. per l'effettuazione di tale valutazione.

A valle di questa valutazione di carattere economico, nel corso di una riunione che ha coinvolto anche l'RSPP che si dovrà occupare della valutazione dei rischi per i lavoratori addetti alla nuova linea di assemblaggio, emerge la necessità di raccogliere alcune informazioni preliminari al fine di valutare se, con il numero di operatori attualmente previsti sulla linea, il rischio da movimenti e sforzi ripetuti non possa essere troppo elevato.

In tal caso sarebbe infatti necessario prevedere un quinto addetto sulla linea che operi come jolly nei momenti di pausa degli altri addetti e ciò comporterebbe dei costi aggiuntivi attualmente non considerati.

Dopo avere descritto quale metodologia può essere utilizzata per effettuare la valutazione del rischio da movimenti e sforzi ripetuti degli arti superiori, indicare di quali informazioni avete bisogno per poter effettuare tale valutazione.

Sapendo inoltre che il rispetto dei principi ergonomici nella concezione delle postazioni di lavoro, oltre che essere un obbligo per il datore di lavoro sancito da D.Lgs. 81/2008 e s.m.i., è anche uno strumento per poter ridurre alcune tipologie di rischi lavorativi, indicate quali suggerimenti di carattere ergonomico riterreste di dover dare a chi si occuperà della progettazione della linea di assemblaggio, ed in particolare delle postazioni di assemblaggio manuale, affinché vengano rispettati i principi ergonomici.

Con riferimento infine all'attività di preparazione degli ordini per i prodotti della linea EB2, sapendo che a tali prodotti verrà assegnata un'area di picking dedicata, fornire opportune indicazioni su come allestire tale area in funzione della tipologia di imballaggio (secondario o terziari) da cui si effettuerà il prelievo, della modalità di effettuazione del picking e della tecnologia utilizzata per fornire agli operatori la lista di prelievo.



## UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE  
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

SEZIONE A - Seconda sessione 2014

### **PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 15 gennaio 2015**

#### **SETTORE INDUSTRIALE**

**(classi di laurea appartenenti al settore:**

**LM/25 - Ingegneria dell'automazione; LM/31 - Ingegneria gestionale; 36/S e LM/33 - Ingegneria meccanica; 25/S - Ingegneria Aerospaziale e Astronautica)**

**Tema n. 4 (classe 36/S e LM/33 - Ingegneria meccanica)**

Alcuni impianti industriali richiedono per le attività produttive l'utilizzo di elettricità e di vapore. La pratica più comune prevede l'acquisto di elettricità dall'Azienda Municipalizzata locale e la generazione di vapore tramite la combustione in caldaia. Poiché la temperatura dei prodotti di combustione è molto più alta della temperatura del vapore prodotto, vi è un notevole spreco di energia disponibile. La cogenerazione di elettricità e vapore rappresenta un possibile rimedio a questo spreco. Nella configurazione cogenerativa, il combustibile è utilizzato per produrre elettricità e i gas esausti sono utilizzati per produrre il vapore di processo. Se quanto richiesto dal ciclo produttivo non è soddisfatto dall'impianto di cogenerazione, ulteriore vapore o elettricità devono essere acquistati o prodotti separatamente; nel caso la produzione sia invece superiore alle richieste, vapore o elettricità possono essere venduti ad un altro utilizzatore.

Si consideri un processo produttivo che richiede 28 MW elettrici e una portata di vapore di 15 kg/s a pressione di 10 MPa e temperatura 400°C.

L'energia elettrica viene prodotta mediante un motore Diesel che brucia una portata di gasolio (PCI = 44.5 MJ/kg) pari a 1.6 kg/s. I fluidi di raffreddamento (potenza termica pari 14.3 MW) vengono poi usati per il riscaldamento di una portata d'acqua ad uso sanitario (come indicato in figura). Il motore produce 28.6 MW elettrici (si assuma che il generatore elettrico abbia rendimento unitario) parte destinati al processo produttivo e parte, 0.6 MW, destinati a servizi di vario genere (illuminazione uffici).

I gas combusti in uscita dal motore Diesel vengono utilizzati, come indicato in figura, per produrre il vapore di processo; l'elevata richiesta di vapore fa sì che il raffreddamento dei gas non sia sufficiente sia quindi necessario ulteriore combustibile.

Il costo dell'impianto di cogenerazione è pari a 40 milioni di euro; si ritiene che possa funzionare per 8500 ore/anno. I costi annuali per manutenzione, pulizia, tasse e assicurazioni sono pari a 1.500.000 euro/anno. Si assuma inoltre che se non fosse presente l'impianto di cogenerazione:

- l'energia elettrica sarebbe acquistata a 25 euro/MWh;

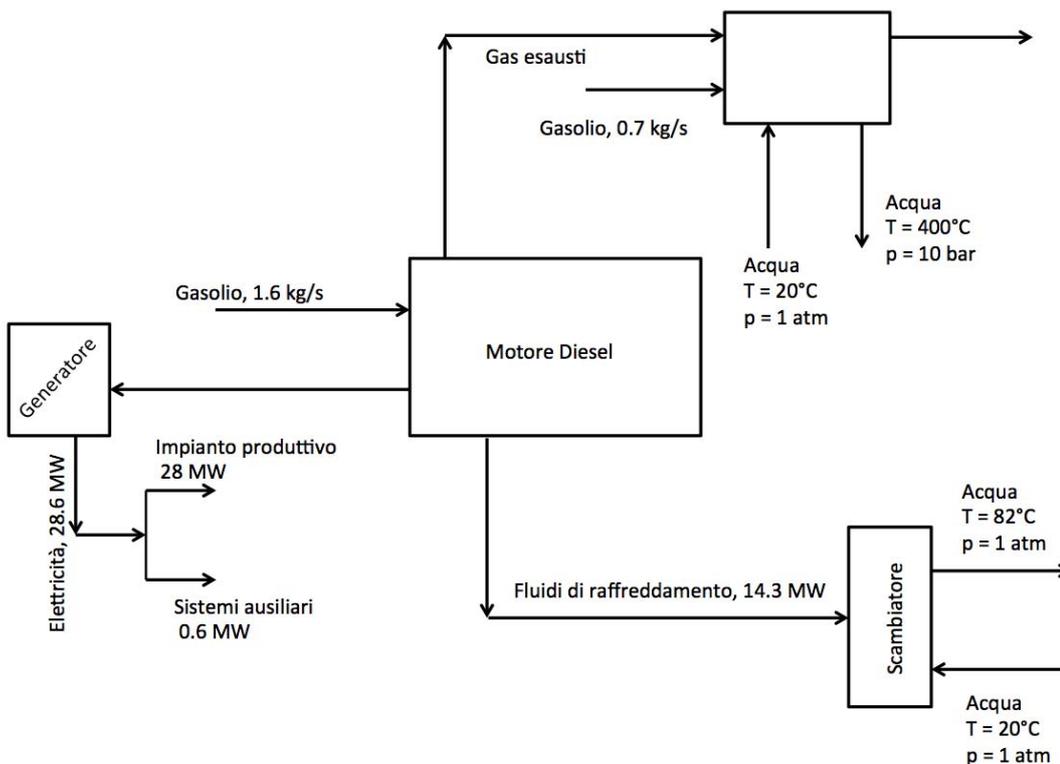
- il vapore di processo sarebbe generato in una caldaia in grado di trasferire l'80% dell'entalpia del combustibile al vapore.

Si supponga infine che il combustibile utilizzato nel motore Diesel sia acquistato a 12 euro/10<sup>6</sup> kJ.

Il Candidato determini:

- quale sarebbe il consumo annuale di combustibile per produrre vapore ed acqua calda separatamente (senza cogenerazione);
- se il combustibile produce gas combusti a 1400°C quale è l'energia disponibile dei gas (si supponga che l'ambiente sia 20°C e che i gas combusti siano descrivibili come gas ideali a pressione atmosferica);
- quanta energia disponibile dei gas combusti viene persa ogni anno per la combustione solo per produrre il vapore e l'acqua calda. Calcolare anche l'entropia prodotta per irreversibilità nel processo;
- quale sarebbe il costo annuale per l'acquisto del vapore e dell'elettricità se l'impianto di cogenerazione non fosse presente;
- supponendo che l'Azienda Municipalizzata abbia un'efficienza del 35% per la produzione e distribuzione dell'energia elettrica, quanto sarebbe il consumo complessivo per soddisfare tutte le esigenze energetiche dell'azienda;
- il rendimento di primo e di secondo principio dell'impianto;
- quale sia il risparmio annuale dell'azienda grazie all'impianto di cogenerazione. Tale risparmio giustifica l'investimento iniziale?

Nel caso fosse necessario, il Candidato ipotizzi (giustificandoli) i valori dei dati mancanti.





## UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

ESAME DI STATO DI ABILITAZIONE ALL'ESERCIZIO DELLA PROFESSIONE DI INGEGNERE  
(Lauree Specialistiche D.M. 509/99 - Lauree Magistrali D.M. 270/04 - Lauree Vecchio Ordinamento)

SEZIONE A - Seconda sessione 2014

### **PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE DEL 15 gennaio 2015**

#### **SETTORE INDUSTRIALE**

**(classi di laurea appartenenti al settore:**

**LM/25 - Ingegneria dell'automazione; LM/31 - Ingegneria gestionale; 36/S e LM/33 - Ingegneria meccanica; 25/S - Ingegneria Aerospaziale e Astronautica)**

**Tema n. 5 (classe 25/S - Ingegneria Aerospaziale e Astronautica)**

Il Candidato:

1. esponga le principali caratteristiche e campi di impiego di un motore a turboelica.
2. Effettui il dimensionamento di massima di una turboelica operante nelle seguenti condizioni:
  - Quota  $h_1 = 5000$  m e  $h_2 = 7000$  m;
  - Numero di Mach  $Ma = 0,45$ ;
  - Rapporto di compressione  $\beta = 12$ ;
  - Temperatura massima del ciclo  $T = 1400$  K.

In particolare si determini:

- la potenza specifica all'asse;
- la spinta specifica del getto (ugello convergente);
- la potenza propulsiva;
- il consumo specifico.

Facendo riferimento ad una potenza propulsiva globale pari a 1400kW si dimensiona la turbina.

Nella soluzione del punto 2, il Candidato ipotizzi i dati che ritiene necessari.