

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

**PROVA SCRITTA
(PROVA DI SETTORE)**

TEMA N. 1

IL SUPERAMENTO DELL'ESAME DI STATO È UN PREREQUISITO PER L'ISCRIZIONE ALL'ORDINE DEGLI INGEGNERI. IL CANDIDATO DESCRIVA LA PROPRIA VISIONE E ASPETTATIVA CIRCA IL RUOLO DELL'ORDINE COME SUPPORTO AL PROPRIO SVILUPPO PROFESSIONALE E AL PROPRIO AMBITO LAVORATIVO.

IN PARTICOLARE IL CANDIDATO METTA IN EVIDENZA I SEGUENTI PUNTI:

- RUOLO DELL' ORDINE NELLA SOCIETÀ CIVILE E IL SUO IMPATTO ECONOMICO, EVENTUALMENTE CONFRONTANDO LA REALTÀ ITALIANA CON QUELLA DI ALTRI PAESI DI CUI SI È A CONOSCENZA
- VALENZA E MODALITÀ DI SUPPORTO ALLA FORMAZIONE CONTINUA E ALL'AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE
- RUOLO DELL'ORDINE PER QUANTO ATTIENE AGLI ASPETTI ETICI E DEONTOLOGICI DELLA PROFESSIONE

IL CANDIDATO RISPONDA AI QUESITI IN FORMA DI RELAZIONE TECNICA ARTICOLATA PER PUNTI, E FACENDO RIFERIMENTO, OVE POSSIBILE, AD ESEMPI CONCRETI E QUANTITATIVI

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

**PROVA SCRITTA
(PROVA DI SETTORE)**

TEMA N. 2

Uno dei fattori vincenti nello scenario competitivo internazionale è certamente una accentuata sensibilità alle problematiche della Qualità.

Gli ingegneri sono sempre più coinvolti nella definizione, progettazione e implementazione di sistemi di gestione della qualità relativa a processi, prodotti e servizi, a partire dalle fasi iniziali della progettazione fino alla assistenza post vendita e se necessario alla dismissione e smaltimento degli apparati.

Il candidato analizzi e descriva i punti sopra menzionati, ponendo particolare attenzione sul fatto che l'adozione di sistemi di gestione ha anche un effetto sulla riduzione dei rischi di incidenti sul lavoro e sull'impatto ambientale e sociale.

Il candidato risponda ai quesiti in forma di relazione tecnica articolata per punti, e facendo riferimento, ove possibile, ad esempi concreti e quantitativi

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

**SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)**

TEMA N. 1

Il candidato discuta esaustivamente l'impianto antighiaccio presente a bordo dei velivoli, illustrandone in modo critico le problematiche progettuali, i principali vincoli, le soluzioni adottabili per l'intero impianto e per i singoli equipaggiamenti costitutivi dell'impianto stesso.

Evidenzi, inoltre, i criteri di dimensionamento in funzione delle differenti classi di velivoli e i passi necessari ad effettuare il dimensionamento dell'intero impianto.

In alternativa

il candidato descriva gli strumenti di navigazione necessari a bordo di un veicolo spaziale per determinare in modo completo il vettore di stato del veicolo stesso.

Chiarisca il principio di misura e di funzionamento degli strumenti evidenziati.

Ne discuta le prestazioni in termini di precisione, accuratezza ed errori di misura.

Laddove possibile, presenti i metodi per confinare e controllare gli effetti degli errori sul dato in uscita dal sensore.

Identifichi e discuta nel dettaglio, inoltre, una possibile architettura minima di sensori per navigazione da installare a bordo nel caso di una missione di esplorazione planetaria.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 2

La ricerca biomedica spesso utilizza approcci integrati che si servono di modelli sperimentali molto diversi e con funzioni complementari. In generale è possibile raggruppare i moderni paradigmi sperimentali impiegati in biologia e medicina in due grandi categorie: metodi *in silico*, basati sull'utilizzo del computer e dell'informatica, e metodi biologici (*in vitro*, *in vivo*, *ex vivo*), basati sull'utilizzo di biomolecole, colture cellulari, organi isolati e perfusi, nonché organismi animali, uomo incluso. In questo secondo ambito, notevoli sono le ricerche di base ed applicate volte ad applicare il principio delle 3 R in accordo a quanto indicato da Russel e Burch già nel 1959: "*The Principles of Humane Experimental Technique*". Nel testo, le possibili alternative alla sperimentazione *in vivo* sugli animali venivano definite con il termine delle "3 R", con le quali si faceva riferimento a tre differenti aspetti:

- *Refinement*: miglioramento delle condizioni sperimentali;
- *Reduction*: riduzione della sperimentazione animale e del numero degli animali;
- *Replacement*: sostituzione della sperimentazione animale con metodi alternativi.

Tale principio è stato ampiamente recepito con la recente Direttiva 2010/63/EU nella quale vengono indicati i limiti relativi all'impiego degli animali, le modalità sperimentali che debbono essere in grado di ridurre, se non annullare ogni possibile ed inutile sofferenza, vengono sancite le norme relative alla stabulazione degli animali e, da ultimo, vengono sollecitate e le ricerche volte ad identificare metodologie alternative.

Il candidato:

- discuta in quali ambiti e quali tipi di informazioni possono essere ottenute con diversi approcci sperimentali
- illustri, con esempi concreti o facendo riferimento alla propria esperienza professionale, ambiti in cui la sperimentazione *in vivo* possa essere utilmente ridotta senza togliere rilevanza alla specifica ricerca o applicazione in ambito biomedicale.

Infine, il candidato discuta il ruolo che il bioingegnere può svolgere in questo contesto.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 3

In un sistema di controllo in anello chiuso è spesso necessario, partendo da misure sul sistema fisico, identificare altre grandezze che verranno poi utilizzate per controllare il sistema. A questo scopo si possono utilizzare osservatori e stimatori. Il candidato, facendo eventualmente riferimento ad un caso specifico, affronti questa tematica evidenziando le metodologie implementative e le problematiche principali che si possono incontrare nella realizzazione di un osservatore e/o stimatore.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 4

Il candidato illustri, anche attraverso un esempio specifico, il problema dello *scale-up* di un processo chimico.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 5

La macchina a induzione. Il candidato illustri il principio di funzionamento, l'utilizzo ed eventualmente le problematiche di avviamento di tale macchina all'interno di impianti industriali. Se lo si ritiene necessario si faccia riferimento ad una applicazione specifica.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 6

CON RIFERIMENTO ALLE DIVERSE TIPOLOGIE DI LINEE DI MONTAGGIO MANUALE,
SI DISCUTA:

1. IL RUOLO DEL "BUFFER" (CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALL'IMPATTO SUI TEMPI DI CICLO);
2. I PRINCIPALI METODI DI DEFINIZIONE DEL NUMERO DI BUFFER DA INSERIRE IN LINEA E DI DIMENSIONAMENTO DEI BUFFER.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 7

Lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani (RSU) è un problema attuale e di portata via via crescente. Il candidato esamini i vantaggi e le problematiche tecnico/ambientali legati all'incenerimento e al recupero energetico di RSU mediante termovalorizzazione. Con particolare riferimento poi all'impianto di potenza individuato per la termovalorizzazione, si valuti una definizione qualitativa del relativo ciclo termodinamico.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 8

Il candidato illustri le principali tipologie di attuatori utilizzati nelle macchine industriali (attuatori elettrici, pneumatici, idraulici) facendo riferimento principalmente agli aspetti positivi e negativi di ciascuna soluzione.

Si consideri quindi una macchina automatica per la movimentazione di pezzi da assemblare lungo un asse orizzontale (massa massima del singolo pezzo = 8kg). Il movimento deve essere eseguito con una corsa di 1 m e con una cadenza di 1000 pezzi/ora. Il candidato definisca:

- la tipologia di attuatore che intende utilizzare
- i criteri alla base del dimensionamento del sistema di attuazione

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 9

I materiali compositi consentono di raggiungere combinazioni di proprietà molto vantaggiose, che ne giustificano l'impiego in numerose applicazioni industriali.

Si illustrino le caratteristiche di questi materiali, le proprietà che essi permettono di conseguire e le specificità da considerare in fase di progettazione.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 15 GIUGNO 2017
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

SECONDA PROVA SCRITTA
(PROVA DI CLASSE)

TEMA N. 10

Si illustri e si commenti il bilancio energetico dell'organismo in ambito microclimatico. In particolare si descrivano le grandezze che è necessario misurare sperimentalmente e quelle delle quali è invece possibile ipotizzare il valore.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 13 SETTEMBRE 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 1

Il/la candidato/a risolva uno tra i seguenti due temi:

A)

Un quadrireattore Boeing 747-100 decolla al peso massimo al decollo W_{TO} avendo imbarcato una quantità di combustibile compatibile col massimo carico pagante J_{MAX} . Raggiunta la quota di crociera $Z_{c ISA} = 9000$ m avendo mantenuto per la salita il $C_{L-E_{max}}$ e la manetta massima $\phi_{1,5} = 1$, il velivolo compie la crociera a questa quota costante e all'assetto costante corrispondente a $C_L = 0,48$. Durante la crociera tra Roma ($La = 41^\circ 54' N$, $Lo = 12^\circ 30' W$) e New York ($La = 40^\circ 42' N$, $Lo = 74^\circ 00' W$) spira un vento contrario di 20 kt.

Giunto sulla verticale del V.O.R. dell'aeroporto di arrivo (stesse coordinate di New York) ad una quota $Z_{ISA} = 1000$ m, avendo terminato la crociera 300 km prima e avendo consumato per la discesa in questo tratto una quantità di combustibile $W_d = 1500$ kg, il velivolo deve compiere una virata a destra di 180° in traiettoria discendente per portarsi nella direzione dell'asse della pista di atterraggio. Il diametro del cilindro su cui giace la traiettoria discendente deve essere di 6000 m e la perdita di quota nella virata di 500 m. Questa traiettoria elicoidale discendente è compiuta eseguendo una virata corretta col massimo sbandamento laterale consentito $\phi = 25^\circ$. Visto quanto precedentemente detto si chiede di calcolare:

1. tempi, spazi e consumi per il decollo a pieno carico, a quota $Z_{ISA} = 1000$ m,, su un ostacolo di 25m, adottando un coefficiente di attrito funzione della velocità, la cui parte costante è $\sigma_0 = 0.015$ e un tempo di manovra $t_m = 4$ s.
2. il tempo t_c , lo spazio s_c e il consumo W_{fc} per la salita alla quota di crociera $Z_{c ISA} = 9000$ m, compiuta al $C_{L-E_{max}}$ e con la manetta massima $\phi_c = 1$, utilizzando un metodo a tratti o energetico.
3. la distanza Roma - New York secondo la rotta più breve.
4. la quantità di combustibile consumata durante la crociera Roma - New York tenendo conto del vento contrario di 20kt incontrato durante tutta la traversata, considerando il consumo specifico costante pari al valore di inizio crociera; il peso del velivolo W_f sulla verticale del V.O.R. di New York (stesse coordinate di New York).
5. l'angolo di rampa β , il fattore di contingenza n , la velocità vera v_{TAS} , la manetta ϕ_{turn} , la velocità angolare Ω e il tempo necessario t_{turn} nella virata corretta discendente percorsa col massimo sbandamento laterale consentito $\phi = 25^\circ$.

B)

Con riferimento ad una sonda inviata attorno al pianeta Venere per l'osservazione dell'atmosfera, caratterizzata dai dati riportati di seguito, si progetti il sottosistema di controllo termico, in particolare:

1. Si derivino i requisiti tecnici per il sottosistema e si discutano le possibili soluzioni tecniche
2. Si dimensionino il sottosistema – derivandone i relativi budget di potenza e massa
3. Si definisca l'impatto che il dimensionamento del sottosistema ha sulla progettazione del resto del sistema

Dati:

- L'orbita attorno a Venere è circolare, quota 500 km;
- È richiesto di poter effettuare una manovra di 180° in 15 minuti
- La massa totale al lancio è di 1270 kg e la massa all'arrivo a Venere è di 700 kg
- La potenza massima richiesta è di 1100W a Venere in luce e di 500W in eclisse
- Il corpo del satellite è un parallelepipedo di $1,5 \times 1,8 \times 1,4$ e monta due ali di pannelli per un totale di 6 m^2
- Il datarate dell'orbiter verso Terra è di 10Mbps

$$R_{\text{venere-sole}} = 0.72 \text{ AU}$$
$$r_{\text{venere}} = 0.949 r_{\text{terra}}$$

$$M_{\text{venere}} = 0.8149 m_{\text{terra}}$$
$$k_{\text{terra}} = 3.98e^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

$$\text{Albedo} = 0,7$$
$$T_{\text{superficie}} = 460^\circ \text{C}$$

Operative Characteristics	
Operating Empty Weight	358000 lb
Maximum Taxi Gross Weight	753000 lb
Maximum Takeoff Gross Weight	750000 lb
Maximum Landing Gross Weight	585000 lb
Maximum Zero Fuel Weight	526500 lb
Maximum Fuel Capacity	48445 U.S.gal (183380 l)
Design Characteristics	
Area	5500 ft ²
Wing span	195 ft 8 in
Overall length	231 ft 10.2 in
Tail height	63 ft 5 in
Aspect ratio	6.97
Mean aerodynamic chord	27.3 ft
Sweep angle	37°
Airfoils at the root	BAC 463 ~ BAC 468
Airfoils at the tip	BAC 469 ~ BAC 474
Taper ratio	0.30
Inertia radius in flight	$\rho_{xx} = 8.6m; \rho_{yy} = 11.7m; \rho_{zz} = 13.9m$
Inertia radius @ ground	$\rho_{xx} = 8.8m; \rho_{yy} = 11.7m; \rho_{zz} = 13.9m$
Aerodynamics Characteristics	
Minimum drag coefficient	0.016
Drag coefficient rise in transonic flight	$\Delta C_D = 0.2(M - 0.75)^2$
Oswald factor	0.9
Maximum lift coefficient	1.35
Maximum lift coefficient with flap full extended	2.30
Lift coefficient @ taxi attitude	1.12
Engine Characteristics (JT9D-3A)	
Specific fuel consumption @ sea level	0.4 kg/kg h
EPR	Vedi Fig. da 2 a 5 (Pan Am - Aircraft Operation Manual)

TAKEOFF SPEEDS

BOEING 747 OPERATIONS MANUAL

V1, VR, V2

KLAS ANYT EKID OR CLIMB ATTITUDE (CR AT) 3 ENGINE - DEGREES

PRESS ALT 1800 FT	OAT															
	-65 TO 63			-54 TO 17			62 TO 83			64 TO 93						
9 TO 10	F			F			F			F						
7 TO 9	F			F			F			F						
5 TO 7	F			F			F			F						
3 TO 5	F			F			F			F						
1 TO 3	F			F			F			F						
-1 TO 1	F			F			F			F						
GROSS WT 1000 KG	V1				VR				V2				CR AT			
	V1	VR	V2	CR AT	V1	VR	V2	CR AT	V1	VR	V2	CR AT	V1	VR	V2	CR AT
380	165	178	188	13	166	180	188	13	168	180	188	12	169	182	188	11
370	162	175	185	13	163	176	185	13	165	177	185	12	166	179	185	11
360	159	171	182	14	161	173	182	13	162	174	182	12	164	176	182	12
350	156	168	179	14	158	169	179	14	159	171	179	13	161	173	179	12
340	152	164	176	14	154	166	176	14	155	167	176	13	158	169	176	12
330	149	160	172	15	151	162	172	14	152	163	172	14	154	165	172	13
320	145	157	169	15	147	158	169	15	149	160	169	14	151	161	169	13
310	142	153	166	15	144	155	166	15	146	156	166	14	147	157	166	14
300	138	148	162	16	140	150	162	15	142	152	162	15	144	153	162	14
290	134	144	159	16	136	146	159	15	139	148	159	15	140	149	159	14
280	130	140	154	16	132	142	156	16	135	144	156	15	136	145	156	15
270	126	136	150	17	128	138	150	16	131	140	150	16	132	142	150	15
260	122	132	146	17	124	134	146	17	127	136	146	16	128	138	146	16
250	118	128	142	18	120	130	142	17	123	132	142	16	124	134	142	16
240	114	124	138	19	116	126	138	18	119	128	138	17	120	130	138	16
230	110	120	134	19	112	122	134	19	115	124	134	17	116	126	134	16
220	106	116	130	20	108	118	130	19	111	120	130	18	112	122	130	17
210	102	112	126	20	104	114	126	19	107	116	126	18	108	118	126	17
200	98	108	122	20	100	110	122	19	103	112	122	18	104	114	122	17

GROSS WT 1000 KG	V1				VR				V2				CR AT			
	V1	VR	V2	CR AT	V1	VR	V2	CR AT	V1	VR	V2	CR AT	V1	VR	V2	CR AT
380	160	171	181	11	163	173	181	11	163	173	181	10				
370	156	168	178	11	157	168	178	11	160	170	178	10				
360	153	164	175	12	155	166	175	11	156	167	175	11	159	170	175	10
350	150	161	172	12	152	162	172	12	153	164	172	11	153	166	172	10
340	146	158	169	12	148	160	169	12	149	161	169	11	152	162	169	11
330	143	154	165	13	145	156	165	12	146	157	165	11	148	158	165	11
320	139	151	162	13	141	152	162	12	143	154	162	12	145	155	162	11
310	136	147	159	13	138	148	159	12	140	150	159	12	141	151	159	11
300	132	143	155	14	134	144	155	13	136	146	155	12	138	147	155	12
290	128	138	151	14	130	140	151	13	132	142	151	13	134	143	151	12
280	124	134	147	14	126	136	147	14	129	139	149	13	130	139	149	12
270	120	130	143	15	122	132	143	14	125	135	143	13	126	136	143	13
260	116	126	139	15	118	128	139	15	121	131	139	14	122	132	139	13
250	112	122	135	16	114	124	135	15	117	127	135	14	118	128	135	14
240	108	118	131	16	110	120	131	16	113	123	131	15	114	124	131	14
230	104	114	127	17	106	116	127	16	109	119	127	15	110	120	127	14
220	100	110	123	18	102	112	123	17	105	115	123	16	106	116	123	14
210	96	106	119	18	98	108	119	17	101	111	119	16	102	112	119	14
200	92	102	115	19	94	104	115	18	97	107	115	17	98	108	115	14

SPEEDS NOT VALID WHEN WEIGHTS ARE PREDICATED ON USE OF CLEARWAY, STOPWAY, IMPROVED CLIMB OR ARE LIMITED BY BRAKE ENERGY.



SHADED AREA INDICATES PERFORMANCE AFFECTED BY MINIMUM CONTROL SPEED. MINIMUM FIELD LENGTH FOR LIGHTEST WEIGHT ABOVE SHADED AREA IS REQUIRED.

V1 ADJUSTMENTS	
SLOPE	WIND
ADD 1 KNOT PER 1% UP	ADD 1 KNOT PER 15 KNOT HW
SUB 2 KNOT PER 1% DN	SUB 4 KNOT PER 10 KNOT TW

Figura 1 - Takeoff speed chart 747-100

OAT °C	PRESSURE ALTITUDE, FT × 1000											
	-1	SL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
54	1.28 88.8											
51-53	1.29 89.5											
49-50	1.30 89.9											
46-48	1.31 90.3											
44-45	1.32 90.6											
41-43	1.33 91.0											
39-40	1.34 91.3											
37-38	1.35 91.7											
34-36	1.36 91.9											
32-33	1.37 92.0											
30-31	1.38 92.2											
28-29	1.39 92.5											
26-27	1.39 92.2	1.40 92.7										
23-25	1.39 91.9	1.40 92.4	1.41 92.9									
21-22	1.39 91.4	1.40 91.9	1.41 92.4	1.42 92.8								
19-20	1.39 91.1	1.40 91.6	1.41 92.1	1.42 92.5	1.42 93.0	1.43						
17-18	1.39 90.8	1.40 91.3	1.41 91.8	1.42 92.2	1.42 92.7	1.43 93.1	1.44					
14-16	1.39 90.5	1.40 91.0	1.41 91.4	1.42 91.9	1.42 92.3	1.43 92.8	1.44 93.2	1.45				
12-13	1.39 90.0	1.40 90.5	1.41 91.0	1.42 91.4	1.42 91.9	1.43 92.3	1.44 92.7	1.45 93.3	1.46			
10-11	1.39 89.7	1.40 90.2	1.41 90.6	1.42 91.1	1.42 91.1	1.43 91.5	1.44 92.0	1.45 92.4	1.46 92.9	1.47 93.4		
8-9	1.39 89.4	1.40 89.9	1.41 90.3	1.42 90.8	1.42 90.8	1.43 91.2	1.44 91.7	1.45 92.1	1.46 92.6	1.47 93.1	1.48 93.6	
7	1.39 89.0	1.40 89.6	1.41 90.0	1.42 90.4	1.42 90.4	1.43 90.9	1.44 91.3	1.45 91.8	1.46 92.3	1.47 92.8	1.48 93.3	1.49 93.8
0	1.39 87.9	1.40 88.4	1.41 88.9	1.42 89.3	1.42 89.3	1.43 89.7	1.44 90.2	1.45 90.6	1.46 91.1	1.47 91.6	1.48 92.1	1.49 92.6
-10	1.39 86.3	1.40 86.8	1.41 87.2	1.42 87.7	1.42 87.7	1.43 88.1	1.44 88.5	1.45 88.9	1.46 89.4	1.47 89.9	1.48 90.4	1.49 90.9
-20	1.39 84.6	1.40 85.1	1.41 85.6	1.42 86.0	1.42 86.0	1.43 86.4	1.44 86.8	1.45 87.2	1.46 87.7	1.47 88.2	1.48 88.7	1.49 89.1
-30	1.39 83.0	1.40 83.4	1.41 83.8	1.42 84.3	1.42 84.3	1.43 84.7	1.44 85.1	1.45 85.5	1.46 86.0	1.47 86.4	1.48 86.9	1.49 87.4
-40	1.39 81.2	1.40 81.7	1.41 82.1	1.42 82.5	1.42 82.5	1.43 82.9	1.44 83.3	1.45 83.7	1.46 84.2	1.47 84.6	1.48 85.1	1.49 85.5

PERFORMANCE NOTES

For packs-off rating:
 — Turn all packs off for takeoff.
 — Add .02 EPR and 0.8% N1.

Engine anti-ice: no correction required.

Chart EPRs are limit ÉPR. N1s are nominal N1.

Takeoff thrust is limited to 5 minutes.

Figura 2 - Takeoff EPR and N1 for JD9D-3A

300 KCAS TO .82M CLIMB

TOGW 630-610,001 LB							TOGW 550-530,001 LB												
PA	Avg TAS	+ 20		+ 10		Std Day	- 20		PA	Avg TAS	+ 20		+ 10		Std Day	- 20			
		Fuel Time	Fuel Time	Fuel Time	Fuel Time	Fuel Time	Fuel Time	Fuel Time			Fuel Time	Fuel Time	Fuel Time	Fuel Time	Fuel Time	Fuel Time	Fuel Time		
37	397			29.1	47	28.2	47	27.3	47	39	397	28.8	52	23.2	38	22.6	38	21.9	38
35	388	31.9	53	25.6	39	24.8	39	23.9	39	37	383	24.9	42	20.9	32	20.4	32	19.7	32
33	378	29.3	48	23.8	35	23.0	35	22.2	35	35	374	23.3	38	19.7	29	19.1	29	18.5	29
31	369	27.5	44	22.4	33	21.7	32	20.8	32	33	366	22.1	35	18.7	27	18.2	27	17.5	27
29	360	25.4	40	20.8	30	20.1	29	19.4	29	31	358	21.0	33	17.8	26	17.3	25	16.7	25
27	350	23.4	36	19.3	27	18.7	27	18.0	27	29	349	19.6	30	16.7	24	16.2	23	15.7	23
25	341	21.8	33	18.0	25	17.4	24	16.8	24	27	339	18.4	28	15.7	22	15.2	21	14.7	21
23	335	20.5	31	17.0	23	16.4	22	15.8	22	25	331	17.2	26	14.7	20	14.3	20	13.8	20
21	326	18.8	28	15.7	21	15.2	20	14.7	20	23	325	16.3	24	14.0	19	13.5	18	13.1	18
19	316	17.2	25	14.4	19	14.0	18	13.5	18	21	316	15.2	22	13.0	17	12.7	17	12.2	17
15	290	13.7	19	11.7	15	11.4	14	11.0	14	19	306	14.0	20	12.1	16	11.7	15	11.4	15
10	254	10.0	13	8.7	10	8.5	10	8.3	10	15	279	11.3	15	10.0	12	9.7	12	9.4	12
										10	240	8.5	11	7.6	9	7.4	9	7.2	9
TOGW 610-590,001 LB							TOGW 530-510,001 LB												
37	397	33.6	59	26.3	42	25.6	42	24.7	42	41	408			25.8	47	25.3	47	24.6	47
35	384	29.2	48	23.8	36	23.1	36	22.3	36	39	391	25.6	45	21.3	35	20.8	35	20.2	35
33	375	27.2	44	22.3	33	21.6	33	20.9	33	37	379	23.1	38	19.6	30	19.1	30	18.5	30
31	367	25.6	41	21.1	31	20.4	30	19.7	30	35	371	21.7	35	18.5	28	18.0	28	17.4	28
29	357	23.7	37	19.6	28	19.0	28	18.4	28	33	363	20.7	33	17.7	26	17.2	26	16.6	26
27	347	22.0	34	18.3	26	17.7	25	17.1	25	31	356	19.7	31	16.8	24	16.4	24	15.8	24
25	339	20.5	31	17.1	23	16.6	23	16.0	23	29	346	18.5	28	15.8	22	15.4	22	14.9	22
23	332	19.3	29	16.1	22	15.6	21	15.0	21	27	337	17.3	26	14.9	21	14.5	20	14.0	20
21	324	17.8	26	15.0	20	14.5	19	14.0	19	25	328	16.3	24	14.0	19	13.6	19	13.2	19
19	313	16.3	23	13.8	18	13.4	17	12.9	17	23	322	15.5	23	13.3	18	12.9	17	12.5	17
15	287	13.0	18	11.3	14	10.9	14	10.6	14	21	313	14.4	21	12.5	16	12.1	16	11.7	16
10	251	9.6	12	8.4	10	8.2	10	8.0	10	19	303	13.3	19	11.5	15	11.2	15	10.9	15
TOGW 590-570,001 LB							TOGW 570-550,001 LB												
37	391	29.8	51	24.2	38	23.5	38	22.8	38	39	398			25.7	43	25.1	43	24.3	43
35	380	26.9	44	22.3	34	21.6	34	20.9	34	37	387	27.1	46	22.4	35	21.8	35	21.1	35
33	372	25.3	41	21.0	31	20.4	31	19.7	31	35	377	25.0	41	20.9	31	20.3	31	19.6	31
31	364	23.9	38	19.9	29	19.3	29	18.6	29	33	369	23.6	38	19.8	29	19.2	29	18.6	29
29	354	22.2	35	18.6	26	18.0	26	17.4	26	31	361	22.4	35	18.8	27	18.2	27	17.0	27
27	345	20.7	32	17.4	24	16.8	24	16.3	24	29	352	20.9	32	17.6	25	17.1	25	16.5	25
25	336	19.3	29	16.3	22	15.8	22	15.2	22	27	342	19.5	30	16.5	23	16.0	23	15.5	23
23	330	18.3	27	15.4	21	14.8	20	14.3	20	25	333	18.2	27	15.5	21	15.0	21	14.5	21
21	321	16.9	25	14.3	19	13.8	18	13.4	18	23	327	17.3	26	14.6	20	14.2	19	13.7	19
19	311	15.4	22	13.2	17	12.8	17	12.4	17	21	319	16.0	23	13.7	18	13.2	18	12.8	18
15	285	12.4	17	10.8	13	10.5	13	10.2	13	19	308	14.7	21	12.6	16	12.2	16	11.9	16
10	247	9.2	12	8.1	10	7.9	9	7.7	9	15	282	11.9	16	10.4	13	10.1	13	9.8	13
										10	244	8.8	10	7.9	9	7.6	9	7.5	9

NOTES

- These tables are based on the - 7A Max Climb Rating at TOGW heavier than 650,000 lb, and - 3A Max Climb Rating at TOGW 650,000 lb or lighter. They include level-off and acceleration to .84 Mach.
- Use Fuel adjustment for high-elevation airports (effect on time is negligible).

FUEL ADJUSTMENT	
Pressure Altitude	Subtract
10,000	2300 lb
8,000	1800 lb
6,000	1300 lb
4,000	800 lb
2,000	400 lb

Figura 4 - Flight conduct - climb 2/3

300 KCAS TO .82M CLIMB

TOGW 510-490,001 LB									
PA	Avg TAS	+ 20		+ 10		Std Day		- 20	
		Fuel	Time	Fuel	Time	Fuel	Time	Fuel	Time
41	397			22.4	39	21.9	39	21.3	39
39	387	23.3	40	19.8	32	19.3	32	18.7	32
37	376	21.5	36	18.4	28	18.0	28	17.4	28
35	368	20.4	33	17.5	26	17.0	26	16.5	26
33	360	19.4	31	16.7	24	16.3	24	15.7	24
31	353	18.5	29	16.0	23	15.5	23	15.0	23
29	343	17.4	27	15.0	21	14.6	21	14.1	21
27	334	16.4	25	14.2	19	13.8	19	13.3	19
25	325	15.4	23	13.4	18	13.0	18	12.6	18
23	319	14.7	22	12.7	17	12.3	17	11.9	17
21	310	13.7	20	11.9	16	11.6	15	11.2	15
19	300	12.6	18	11.1	14	10.8	14	10.4	14
15	272	10.4	14	9.2	11	9.0	11	8.7	11
10	233	7.8	10	7.1	8	6.9	8	6.7	8
TOGW 490-470,001 LB									
41	396	24.5	45	20.3	34	19.9	34	19.3	34
39	382	21.6	37	18.5	29	18.1	29	17.5	29
37	372	20.1	33	17.4	26	16.9	26	16.4	26
35	364	19.1	31	16.5	24	16.1	24	15.6	24
33	357	18.3	29	15.8	23	15.4	23	14.9	23
31	350	17.5	27	15.1	22	14.7	21	14.2	21
29	340	16.5	25	14.3	20	13.9	20	13.5	20
27	331	15.5	23	13.5	18	13.1	18	12.7	18
25	322	14.6	22	12.8	17	12.4	17	12.0	17
23	316	13.9	20	12.1	16	11.8	16	11.4	16
21	307	13.0	19	11.4	15	11.1	15	10.7	15
19	297	12.1	17	10.6	14	10.3	13	10.0	13
15	269	9.9	13	8.8	11	8.6	11	8.4	11
10	229	7.5	10	6.8	8	6.7	8	6.5	8
TOGW 470-450,001 LB									
43	409			21.3	40	21.1	40	20.5	40
41	390	22.0	40	18.7	31	18.3	31	17.8	31
39	378	20.0	34	17.4	27	17.0	27	16.4	27
37	369	18.9	31	16.4	25	16.0	25	15.5	25
35	361	18.0	29	15.7	23	15.3	23	14.8	23
33	354	17.3	27	15.0	22	14.6	22	14.2	22
31	347	16.5	26	14.4	20	14.0	20	13.6	20
29	337	15.6	24	13.6	19	13.3	19	12.8	19
27	328	14.7	22	12.9	18	12.5	17	12.1	17
25	319	13.9	20	12.2	16	11.9	16	11.5	16
23	313	13.3	19	11.6	15	11.3	15	10.9	15
21	304	12.4	18	10.9	14	10.6	14	10.3	14
19	293	11.5	16	10.2	13	9.9	13	9.6	13
15	265	9.5	13	8.5	10	8.3	10	8.1	10
10	225	7.3	9	6.6	8	6.5	8	6.3	8

TOGW 450-430,001 LB									
PA	Avg TAS	+ 20		+ 10		Std Day		- 20	
		Fuel	Time	Fuel	Time	Fuel	Time	Fuel	Time
43	402	23.0	45	19.1	33	18.9	33	18.4	33
41	385	20.2	36	17.4	28	17.1	28	16.6	28
39	375	18.7	31	16.3	25	16.0	25	15.5	25
37	366	17.7	29	15.5	23	15.1	23	14.7	23
35	358	17.0	27	14.8	22	14.5	22	14.0	22
33	351	16.3	25	14.3	20	13.9	20	13.5	20
31	344	15.6	24	13.7	19	13.3	19	12.9	19
29	334	14.8	22	13.0	18	12.6	18	12.2	18
27	325	14.0	21	12.3	17	12.0	17	11.6	17
25	316	13.2	19	11.6	16	11.3	15	11.0	15
23	310	12.6	18	11.1	15	10.8	14	10.4	14
21	301	11.8	17	10.4	14	10.2	13	9.9	13
19	290	11.0	15	9.7	12	9.5	12	9.2	12
15	262	9.1	12	8.2	10	8.0	10	7.8	10
10	221	7.0	9	6.4	7	6.2	7	6.1	7
TOGW 430-410,001 LB									
43	395	24.4	38	17.4	30	17.2	30	16.7	30
41	381	18.7	32	16.3	26	15.9	26	15.5	26
39	371	17.6	29	15.4	24	15.1	24	14.6	24
37	363	16.7	27	14.7	22	14.3	22	13.9	22
35	355	16.0	25	14.1	21	13.7	21	13.3	21
33	348	15.4	24	13.5	19	13.2	19	12.8	19
31	341	14.8	23	13.0	18	12.7	18	12.3	18
29	331	14.0	21	12.3	17	12.0	17	11.7	17
27	322	13.3	20	11.7	16	11.4	16	11.1	16
25	313	12.6	18	11.1	15	10.8	15	10.5	15
23	306	12.0	17	10.6	14	10.3	14	10.0	14
21	297	11.2	16	10.0	13	9.7	13	9.4	13
19	286	10.5	15	9.3	12	9.1	12	8.8	12
15	258	8.7	12	7.9	10	7.7	9	7.5	9
10	217	6.7	8	6.2	7	6.0	7	5.9	7

NOTES

- These tables are based on the - 7A Max Climb Rating at TOGW heavier than 650,000 lb, and - 3A Max Climb Rating at TOGW 650,000 lb or lighter. They include level-off and acceleration to .84 Mach.
- Use Fuel adjustment for high-elevation airports (effect on time is negligible).

FUEL ADJUSTMENT

Pressure Altitude	Subtract
10,000	2300 lb
8,000	1800 lb
6,000	1300 lb
4,000	800 lb
2,000	400 lb

Figure 5 - Flight conduct - climb 3/3

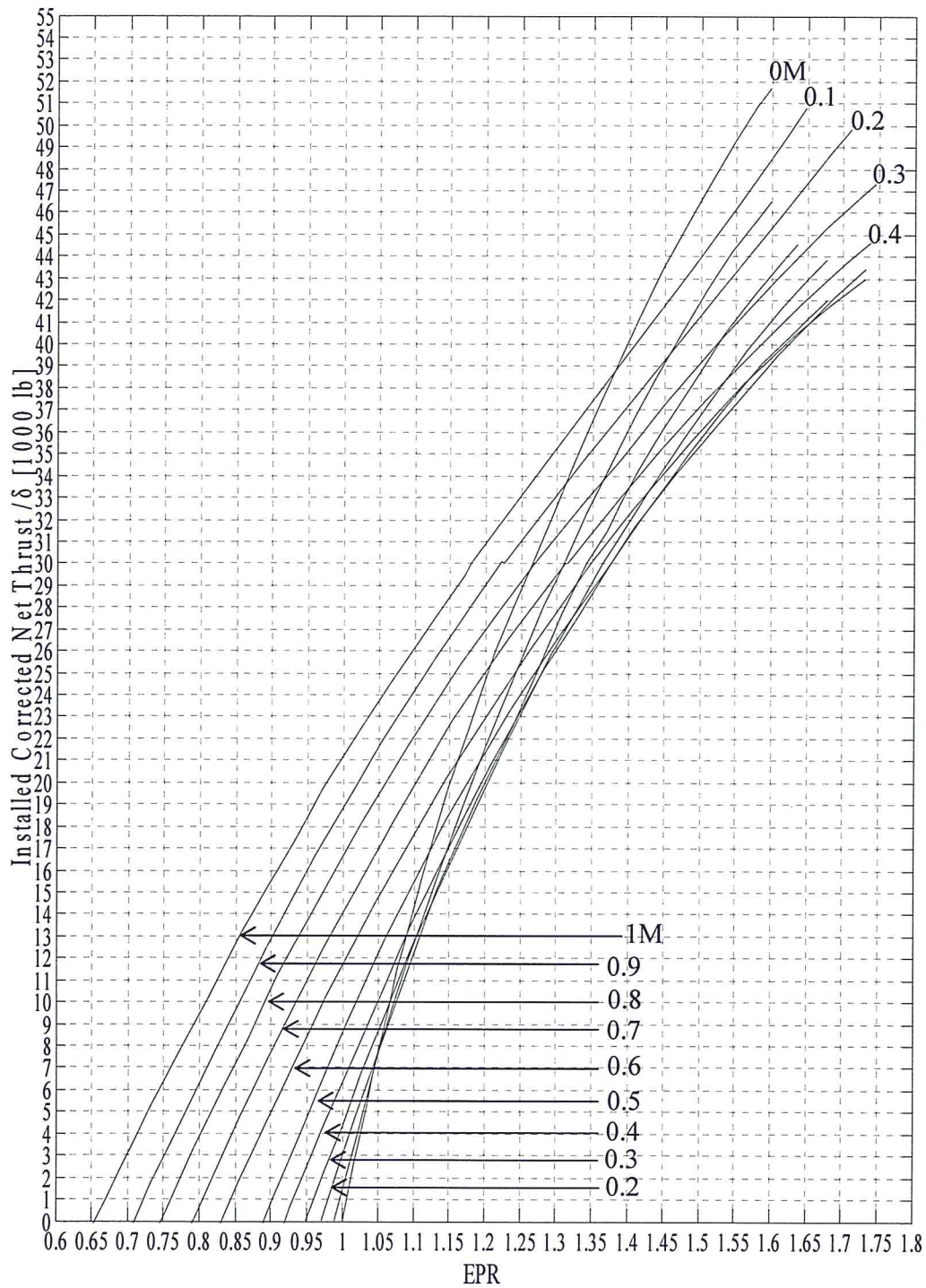


Figura 6 – Installed corrected net thrust @ ground level in 1000 lb for JT9D-3

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 13 SETTEMBRE 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 2

Nella ricostruzione di un legamento crociato anteriore (LCA) attualmente, in ambito clinico, si utilizzano sostituti autologhi, mentre sono in fase di ricerca sostituti sintetici. I principali requisiti meccanici richiesti ad un sostituto per LCA sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1: Caratteristiche meccaniche del LCA naturale di un individuo giovane (20-30 anni)

Carico a rottura	1965 ± 127 N
Allungamento a rottura	$10 \div 40\%$
Rigidezza ($l = 30$ mm)	242 ± 28 N/mm

Per quanto riguarda gli approcci chirurgici, si vogliono studiare metodi differenti come riportato in Figura 1: mono-bound (Fig. 1A) oppure double-bound (Fig. 1B).

Tra i materiali utilizzabili per la ricostruzione del LCA, quelli più studiati sono riportati in Tabella 2, insieme alle proprietà meccaniche.

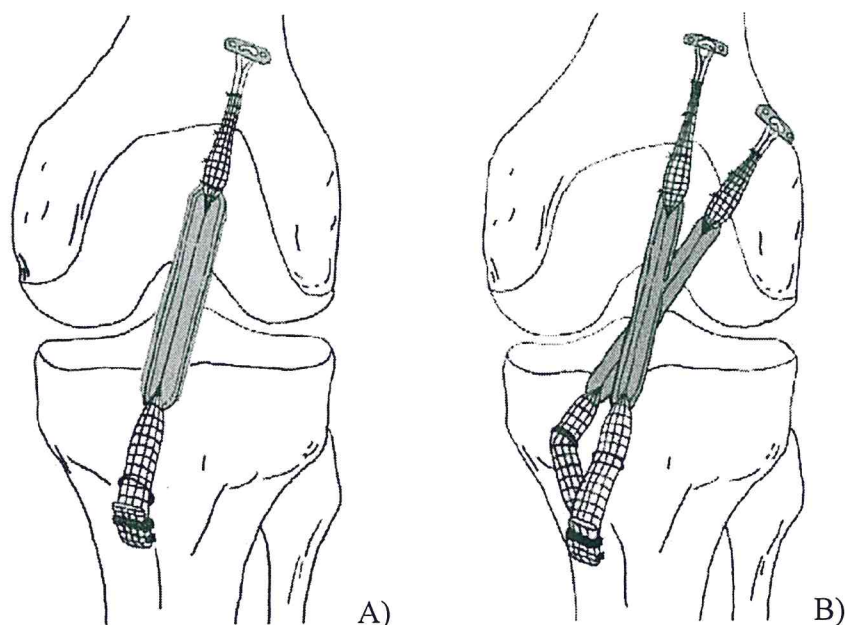


Figura 1: Possibili approcci chirurgici per la ricostruzione del LCA: A) mono-bound; B) double-bound

Tabella 2: Caratteristiche meccaniche di un graft sintetico biorassorbibile e di un graft sintetico non biodegradabile

	PET	PLLA	PLAGA	fibroina della seta
Carico di rottura	1080N	1730 N	907 N	1640 N
Allungamento a rottura	38 %	22%	25%	30%
Rigidezza ($l = 30$ mm)	205 N/mm	280 N/mm	150 N/mm	130 N/mm

PET: polietilen tereftalato

PLLA: poli-L-lattide

PLAGA: polilattide-co-glicolide

1. Il candidato illustri i possibili vantaggi e svantaggi di ciascuna delle due soluzioni chirurgiche proposte (max 1 facciata A4).
2. Il candidato:
 - individui la distribuzione delle forze esistenti nelle due configurazioni proposte in Figura 1 nel momento dell'impianto per tutti i materiali riportati in Tabella 2
 - determini quale dei due approcci, per ciascuno dei materiali considerati (Tabella 2) garantisce la maggior stabilità all'articolazione (andamento nel tempo della rigidezza del sistema)
 - calcoli, utilizzando i dati riportati in Tabella 3 e Tabella 4, gli andamenti nel tempo della rigidezza per i sostituti in PET e in fibroina della seta e la forza residua del dispositivo (percentuale rispetto alla forza totale), commentando i risultati ottenuti

Il candidato progetti un sostituto sintetico per la ricostruzione del LCA che non preveda l'impiego di un materiale differente da quelli riportati in Tabella 2, che abbia adeguate caratteristiche meccaniche.

- si calcoli la distribuzione delle forze e si discutano i risultati.
- si mettano a confronto le soluzioni che prevedono l'utilizzo del materiale proposto dal candidato con quelle migliori ottenute nelle analisi precedenti.

Programmare una prova a fatica da eseguire per verificare in vitro il comportamento di un graft tra quelli precedentemente analizzato, indicando i valori dei parametri meccanici in input necessari per lo svolgimento di tale caratterizzazione e i parametri di output ottenibili.

Indicare eventuali ulteriori caratterizzazioni meccaniche necessarie, motivando le scelte.

Indicare i possibili vantaggi nell'eseguire un'analisi agli elementi finiti (CFD) per lo studio del comportamento meccanico del graft nel tempo. Schematizzare quali siano gli elementi di input e output dell'analisi.

Tabella 3: Valori di carico e deformazione a rottura a differenti tempi di espianto per un sostituto sintetico in PET di lunghezza iniziale pari a 17 mm.

<i>campione</i>	<i>load @ break (N)</i>	<i>strain @ break (%)</i>
tal quale	1080 ± 110	22 ± 4
dopo 9 mesi	1050 ± 115	35 ± 5
dopo 12 mesi	750 ± 50	28 ± 3
dopo 14 mesi	650 ± 48	44 ± 5

Tabella 4: Valori di carico e deformazione a rottura a differenti tempi di espianto per un sostituto in fibroina della seta di lunghezza iniziale pari a 17 mm.

<i>campione</i>	<i>load @ break (N)</i>	<i>strain @ break (%)</i>
tal quale	1640 ± 58	7 ± 3
dopo 9 mesi	1600 ± 95	10 ± 6
dopo 12 mesi	1585 ± 102	18 ± 4
dopo 14 mesi	1400 ± 47	24 ± 7

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
 I SESSIONE 2017 -13 SETTEMBRE 2017
 SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

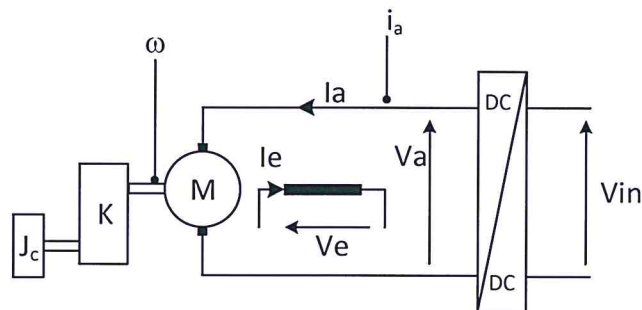
III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 3

Un sistema automatico di movimentazione industriale può essere modellato come lo schema di figura. Il sistema è composto da un motore in CC ad eccitazione indipendente che muove attraverso un opportuno riduttore un carico che può essere modellato con un'inerzia equivalente J_c . L'avvolgimento di armatura del motore in corrente continua è alimentato da un convertitore DC/DC a quattro quadranti che consente di variare la tensione in ingresso e sono disponibili le misure (attraverso opportuni sensori) di corrente di armatura e di velocità del motore



I dati del sistema in esame sono i seguenti

Convertitore in ingresso

$V_{in} = 300 \text{ V}$ Tensione di alimentazione del convertitore DC/DC
 $f_{sw} = 10 \text{ kHz}$ Frequenza di commutazione del convertitore

Motore in Corrente Continua/Carico

$V_n = 180 \text{ V}$ Tensione nominale di armatura
 $T_n = 2.6 \text{ Nm}$ Coppia nominale del motore
 $R_a = 2 \text{ } \Omega$ Resistenza di armatura (a $25 \text{ } ^\circ\text{C}$)
 $L_a = 6.8 \text{ mH}$ Induttanza di armatura
 $\Omega_n = 4000 \text{ giri/min}$ Velocità nominale
 $k_e = 0.4$ Costante di coppia/velocità calcolata a corrente di eccitazione nominale.
 $p = 2$ Numero di poli
 $J_m = 2 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$ Momento di inerzia del motore
 $J_c = 0.45 \text{ kg m}^2$ Momento di inerzia del carico
 $\tau = 1/3$ Rapporto di riduzione (velocità carico/velocità motore)

$V_{en} = 180 \text{ V}$	Tensione nominale di eccitazione
$I_{en} = 1 \text{ A}$	Corrente nominale di eccitazione
$\tau_{ecc} = 1.2 \text{ s}$	Costante di tempo del circuito di eccitazione

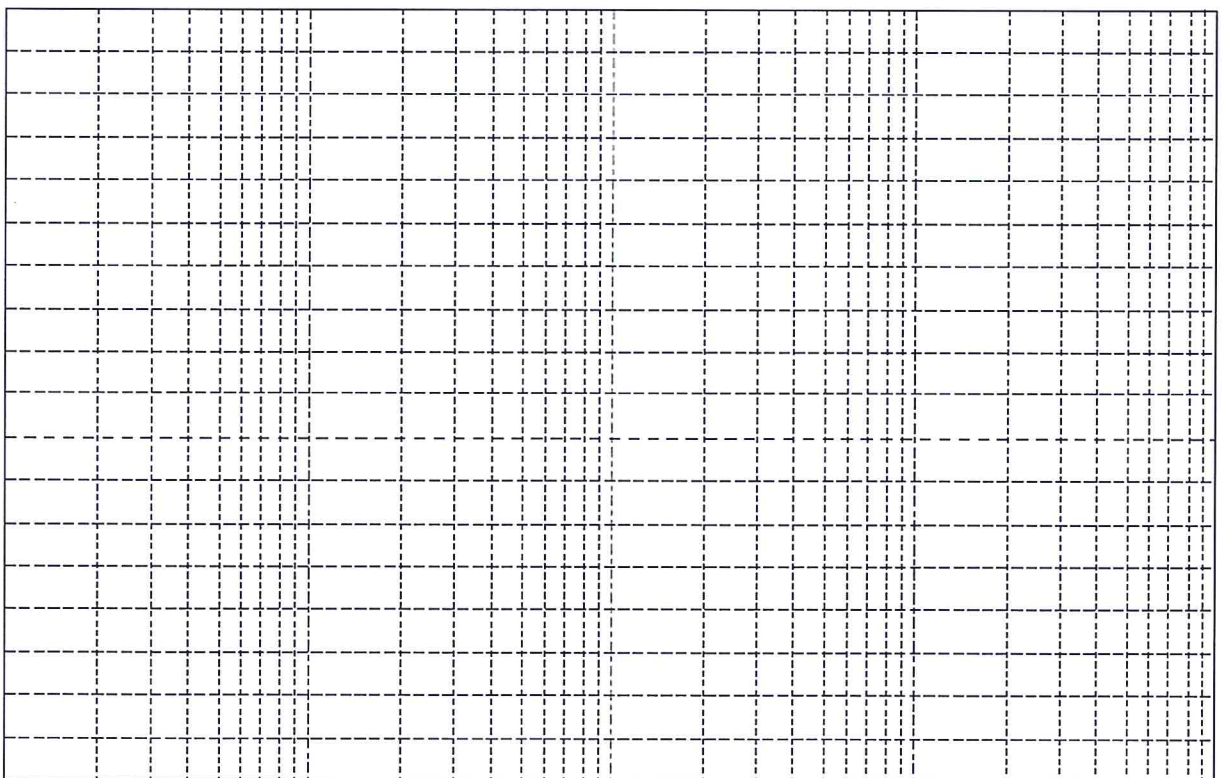
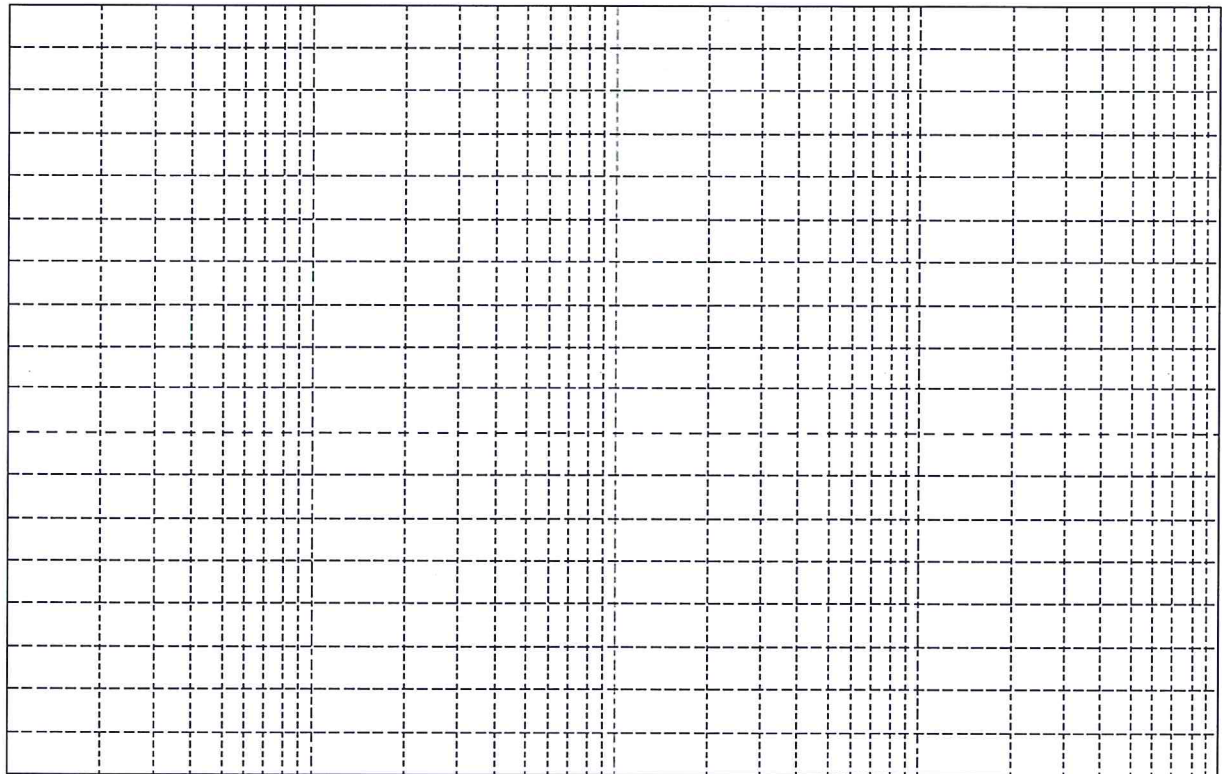
Il candidato risponda alle seguenti domande:

1. Si determini il modello dinamico dell'azionamento completo, considerando come ingresso la tensione ai morsetti della macchina in corrente continua (tensione di armatura) e come uscita la velocità. Si consideri la forza elettromotrice E un disturbo non misurabile.
2. A partire dal modello ottenuto nel punto 1 si progetti eseguendo opportuni calcoli, un controllore di coppia ad anello chiuso tale che:
 - Il sistema retroazionato sia asintoticamente stabile
 - Il sistema retroazionato abbia una banda passante opportuna
 - Il sistema di controllo sia in grado di annullare asintoticamente l'effetto di una variazione a gradino del disturbo
 Si consideri come punto di lavoro e di progetto il punto di funzionamento nominale della macchina. Si raccomanda di identificare una soluzione numerica opportuna per il regolatore richiesto
3. Si linearizzi il sistema completo attorno al punto di regime corrispondente alla velocità nominale e si progetti un controllore di velocità tale per cui:
 - Il sistema retroazionato sia asintoticamente stabile
 - Il sistema retroazionato abbia una banda passante opportuna
 - Il sistema di controllo sia in grado di annullare asintoticamente l'effetto di una variazione a gradino del disturbo
 Si raccomanda di identificare una opportuna soluzione numerica per il regolatore richiesto
4. Considerando il modello completo del sistema, si può osservare come sia possibile aumentare la velocità oltre il punto di velocità nominale riducendo opportunamente il flusso generato dall'avvolgimento di eccitazione in modo che non vengano superati i limiti elettrici e meccanici del sistema.

Si discutano quali sono le caratteristiche che deve avere un sistema di controllo della parte di eccitazione, si ricavi un possibile modello per questo circuito e si progetti un opportuno sistema di controllo discutendo le eventuali interferenze con i controllori progettati in precedenza.

 Si raccomanda di identificare una opportuna soluzione numerica per il regolatore richiesto
5. Per i regolatori progettati nei punti precedenti solitamente in una prima fase non si tiene conto dei limiti del sistema (es. saturazioni) che possono portare a funzionamenti anomali del sistema di controllo. Il candidato facendo riferimento all'anello di regolazione della corrente /coppia discuta di queste problematiche, individui i limiti specifici e proponga una possibile soluzione.
6. Nei sistemi automatici si preferisce spesso eliminare il sensore di velocità (azionamenti sensorless) al fine di diminuire una possibile sorgente di guasto e ridurre i costi. Il candidato discuta le problematiche che è necessario affrontare se si voglia adottare una soluzione di questo tipo.

Per eventuali dati mancanti si faccia riferimento alle regole di buona progettazione.



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 19 DICEMBRE 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 4

Un serbatoio sferico (volume 800 m^3) - adibito allo stoccaggio di GPL (miscela di propano e n-butano) - viene caricato alla temperatura di 20°C con una miscela di GPL al 50% molare di propano. L'operazione di caricamento si conclude quando la sonda di pressione collocata alla sommità del serbatoio misura 4 bar relativi. Sulla base dei dati chimico-fisici riportati e considerando che all'interno del serbatoio si raggiungano condizioni di equilibrio termodinamico tra fase liquida e vapore, è richiesto al candidato di effettuare valutazioni e calcoli al fine di stabilire:

- 1) La quantità di GPL caricata nel serbatoio (in massa e in moli)
- 2) La ripartizione della quantità calcolata al punto (1) tra fase liquida e fase vapore
- 3) Composizioni e volumi occupati dalle due fasi
- 4) L'intervallo di pressione interna in testa e alla base del serbatoio nell'ipotesi in cui la temperatura ambiente vari tra -4° e 30°C

Inoltre:

- 5) per il massimo valore di pressione, è richiesto al candidato di verificare che lo sforzo di tensione sullo spessore di guscio sferico (spessore 12 mm) sia inferiore alla tensione di snervamento del materiale di costruzione del serbatoio (acciaio, $\sigma_{SN}=200\text{MPa}$).

Come schema termodinamico si assuma che sia la miscela liquida sia la miscela vapore abbiano un comportamento ideale. Si assuma invece non ideale il comportamento volumetrico sia della fase liquida sia della fase vapore. In prima approssimazione si consideri che il comportamento volumetrico di entrambe le fasi sia ragionevolmente descritto dalla equazione di stato RKS (riportata in appendice).

APPENDICE

CORRELAZIONI E DATI CHIMICO-FISICI

	PM (kg/kmol)	T _c (K)	P _c (atm)	Z _c (-)	Z _{RA} (-)	ω (-)	A	B	C
C ₃ H ₈	44.097	369.82	41.9	0.281	0.277	0.152	15.726	1872.46	- 25.16
nC ₄ H ₁₀	58.124	425.18	37.5	0.274	0.273	0.193	15.678	2154.90	- 34.42

i) tensione di vapore: $\ln P^\circ(T) = A - \frac{B}{T+C}$ con P° (mmHg) e T (K)

ii) volume molare del componente puro in fase liquida (m³/kmol): $\tilde{V}_{s,L} = \frac{RT_c}{P_c} Z_{RA}^{[1+(1-T_R)^{2/7}]}$

EQUAZIONE DI STATO DI REDLICH-KWONG-SOAVE:

$$Z^3 - Z^2 + (A - B - B^2)Z - AB = 0$$

essendo:

$$A = \frac{a(T)P}{(RT)^2}$$

$$B = \frac{bP}{RT}$$

$$a(T) = 0.42748 \frac{(RT_c)^2}{P_c} [1 + m(1 - \sqrt{T_R})]^2$$

$$m = 0.47979 + 1.576\omega - 0.1925\omega^2 + 0.025\omega^3$$

$$b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c}$$

l'espressione per i coefficienti di fugacità per l'equazione di stato RKS risulta essere:

$$\ln \phi_i(T, P) = Z - 1 - \ln(Z - B) - \frac{A}{B} \ln\left(1 + \frac{B}{Z}\right)$$

DATI GEOMETRICI

Volume di una calotta sferica di raggio R e altezza H:

$$V = \frac{\pi}{3} H^2 (3R - H)$$

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 13 SETTEMBRE 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 5

Una rete elettrica industriale è alimentata in MT a 15 kV, 50 Hz. La rete include anche un generatore sincrono di autoproduzione. Il generatore sincrono ha i seguenti dati:

potenza nominale $A_n = 800$ kVA

tensione nominale $V_n = 1700$ V

reattanza sincrona percentuale $x_s\% = 110\%$

tensione a vuoto a corrente di eccitazione nominale $V_o = 1700$ V

corrente di eccitazione nominale $I_{eccn} = 30$ A (si consideri una caratteristica di magnetizzazione lineare).

Si trascurino gli attriti e la resistenza statorica.

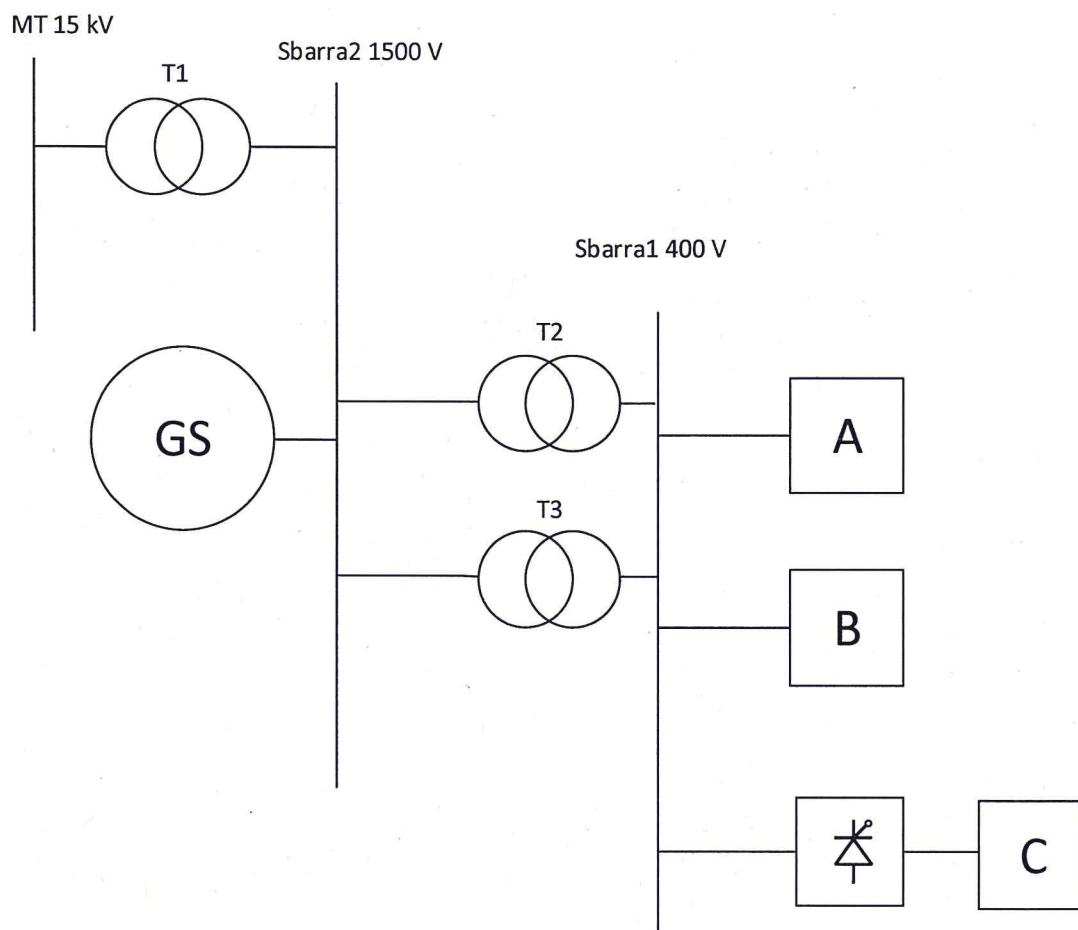
Lo schema unifilare è riportato in figura. Le utenze collegate sono le seguenti:

- Carico A: carico a potenza costante a tensione nominale $V_{nA} = 400$ V, potenza nominale installata $P_{nA} = 300$ kW, fattore di potenza medio $\cos\phi_{nA} = 0.8$.
- Carico B: insieme di motori asincroni di tensione nominale pari a $V_{nB} = 400$ V, potenza meccanica nominale installata $P_{nB} = 280$ kW, rendimento medio $\eta_{nB} = 0.9$, fattore di potenza medio $\cos\phi_{nB} = 0.8$.
- Carico C: macchine in corrente continua alimentate da un ponte di Graetz trifase total controllato. Potenza nominale installata $P_{nC} = 180$ kW, rendimento medio $\eta_{nB} = 0.9$, alimentato a tensione costante $V_C = 500$ V

Il candidato dovrà:

- 1) Determinare l'angolo di ritardo all'accensione del raddrizzatore a ponte total-controllato nell'ipotesi in cui la tensione di sbarra 1 sia pari a 400 V ed il carico C lavori in condizioni nominali.
- 2) Scegliere i trasformatori T2 e T3 da installare definendone i principali parametri, considerando solo ai fini della scelta del trasformatore una tensione di sbarra 2 pari alla nominale. Si considerino i carichi A, B e C funzionanti nelle condizioni nominali.
- 3) Determinare la corrente erogata dal generatore sincrono e la corrente di eccitazione nell'ipotesi di caratteristica di magnetizzazione lineare, ipotizzando che tale generatore eroghi metà della potenza attiva e reattiva richiesta dai carichi elettrici.
- 4) Scegliere e determinare i dati tecnici del trasformatore T1 ipotizzando che possa funzionare anche in assenza del generatore sincrono, fornendo tutta la potenza richiesta dai carichi elettrici.
- 5) Determinare la potenza di rifasamento da installare sulle sbarre MT a 15 kV per garantire un fattore di potenza pari a 0.9.

Per lo svolgimento del tema, il candidato potrà aggiungere ai dati disponibili tutte le ipotesi ragionevoli che riterrà opportune, purché siano debitamente giustificate. Anche eventuali approssimazioni effettuate nei calcoli sono lecite, purché siano debitamente giustificate



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - ~~13~~ SETTEMBRE 2017
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 6

LA GARDENING SPA È UN'IMPRESA CHE OPERA CON SUCCESSO NELLA PRODUZIONE DI MACCHINE PER IL GIARDINO, CON UNA GAMMA ASSAI AMPIA CHE VA DAI TRADIZIONALI TOSAERBA MANUALI AI PIÙ MODERNI TRATTORINI TOSAERBA (NELLE VARIANTI RIDER, A SCARICO LATERALE E A SCARICO POSTERIORE), FINO AGLI SPAZZANEVE MANUALI. IL PRODOTTO DI PUNTA DELL'IMPRESA È IL COD222 (TRATTORINI TOSAERBA DI TIPO RIDER): TALE PRODOTTO È PREVISTO CHIUDERE IL 2017 COME IL PIÙ VENDUTO IN ITALIA NELLA SUA CATEGORIA, CON CIRCA 6.000 UNITÀ ED UN INCREMENTO DEL 15% RISPETTO ALL'ANNO PRECEDENTE.

NEL SETTEMBRE DEL 2017, L'AMMINISTRATORE DELEGATO, ING. SCOTT, SI TROVA DI FRONTE ALLA NECESSITÀ DI DETERMINARE LA STRATEGIA DI SVILUPPO DELLA GARDENING PER IL PROSSIMO FUTURO. LE PREVISIONI RELATIVE ALL'ANDAMENTO DEI REDDITI IMPONIBILI NEI PROSSIMI 10 ANNI, PREPARATE DALLA FUNZIONE FINANZIARIA DELL'IMPRESA, SONO PRESENTATE NELLA TABELLA SEGUENTE (TABELLA 1).

TABELLA 1.

ANNO	2018	2019	2020	2021	2022	2023
UTILE LORDO	150.000 €	55.000 €	-65.000 €	-125.000 €	-1.000 €	-250.000 €
ANNO	2024	2025	2026	2027	2028	2029
UTILE LORDO	250.000 €	-250.000 €	-280.000 €	-280.000 €	-280.000 €	-300.000 €

L' ING. SCOTT, STUPITO DEL FATTO CHE, PUR A FRONTE DI UNA PREVISTA RIPRESA DELLE CONDIZIONI DEL MERCATO GIÀ A PARTIRE DAL 2019, LA GARDENING SIA DESTINATA A PERDERE NOTEVOLMENTE IN PROFITABILITÀ, DECIDE DI AVVIARE UNA PIÙ APPROFONDATA RICERCA SULLE RAGIONI DI UN TALE CALO, COINVOLGENDO A VARIO TITOLO LE VARIE FUNZIONI PRODUTTIVE E COMMERCIALI DELLA GARDENING ED ALCUNI CONSULENTI ESTERNI.

LA RICERCA DEL COSTO TOTALE DI 15.000 € (DA PAGARE IN PARTE, 40%, NEL 2017 ED IN PARTE, 60%, NEL FEBBRAIO DEL 2018) PORTA I SEGUENTI RISULTATI:

- LA CRESCITA DELLA DOMANDA PER IL PRODOTTO COD222 (VENDUTO A 1.050 € PER UNITÀ) È EFFETTIVAMENTE STIMABILE COME SEGUE (TABELLA 2);

TABELLA 2.

ANNO	2018	2019	2020	2021	2022
UNITÀ	6.500	6.750	7.000	7.400	7.800
ANNO	2024	2025	2026	2027	2028
UNITA'	8.000	8.100	8.200	8.500	8.500

- DOPO IL 2028 IL PRODOTTO È DESTINATO AD ESSERE RITIRATO DAL MERCATO;
- LA GARDENING NON È IN GRADO, TUTTAVIA, CON LA CONFIGURAZIONE PRODUTTIVA ATTUALE (PICCOLI IMPIANTI, DEDICATI CIASCUNO A SPECIFICHE LAVORAZIONI), DI “INSEGUIRE” LA PREVISTA CRESCITA DI DOMANDA NEL SEGMENTO PIÙ PROMETTENTE (QUELLO DEI TRATTORINI RIDER) AVENDO RAGGIUNTO CON LE 6.000 UNITÀ PREVISTE PER IL 2017 LA MASSIMA SATURAZIONE.

L'UNICA SOLUZIONE POSSIBILE SEMBRA QUINDI QUELLA DI MODIFICARE GLI IMPIANTI PRODUTTIVI A PARTIRE DAL 15 FEBBRAIO 2018 SOSTITUENDOLI CON UNA PIÙ MODERNA LINEA AUTOMATIZZATA, DEL COSTO DI 2,9 MILIONI DI € (AMMORTIZZABILI IN 6 ANNI A PARTIRE DALLO STESSO 2018).

LA PRODUZIONE DI COD222 ATTUALMENTE RICHIEDE L'IMPIEGO DEI SEGUENTI FATTORI PRODUTTIVI (TABELLA 3):

TABELLA 3.

FATTORE PRODUTTIVO	COSTO PER UNITÀ DI COD222
COMPONENTI DI BASE	170 €
MOTORE	320 €
RUOTE	110 €
ACCESSORI	25 €
ENERGIA	80 €

I COMPONENTI DI BASE SUBISCONO ALCUNE LAVORAZIONI AGGIUNTIVE SU VECCHIE TORNITRICI E FRESATRICI MECCANICHE (DEL VALORE RESIDUO DI 500.000 €, COMPLETAMENTE AMMORTIZZATE ENTRO L'ANNO 2019) UTILIZZATE DA UNA SQUADRA DI 4 OPERAI DIRETTI (DEL COSTO COMPLESSIVO DI 50.000 € L'ANNO). I COMPONENTI RILAVORATI GIUNGO POI AD UNA STAZIONE AUTOMATIZZATA DI PRE-ASSEMBLAGGIO CHE INIZIA A DAR FORMA AL TRATTORINO COD222. A QUESTA STAZIONE (ISCRITTA A BILANCIO CON UN VALORE DI 200.000 € E CON ANCORA DUE ANNI DI AMMORTAMENTO, RISPETTIVAMENTE 2017 E 2018) GIUNGO LE ALTRI PARTI DEL PRODOTTO: LE RUOTE ED IL MOTORE. LA SUPERVISIONE È AFFIDATA AD UN OPERAIO SPECIALIZZATO CHE PERCEPISCE UNO STIPENDIO ANNUO DI 24.000 €.

LE ULTIME OPERAZIONI DI FINITURA, DURANTE LE QUALI VENGONO INCORPORATI NEL PRODOTTO GLI ACCESSORI, SONO AFFIDATE AD UNA SQUADRA DI 2 OPERAI (CON LA MEDESIMA SITUAZIONE RETRIBUTIVA DEI 4 OPERAI DIRETTI) ED ESEGUITE CON ATTREZZATURE SEMI-AUTOMATICHE COMPLETAMENTE AMMORTIZZATE.

NON ESISTONO, E NON SI PREVEDE DI MANTENERE IN FUTURO, SCORTE RELATIVE AL PRODOTTO COD222. PER QUANTO RIGUARDA I RAPPORTI CON I FORNITORI, LA GARDENING OTTIENE MEDIAMENTE UNA DILAZIONE DI PAGAMENTO PARI A 2 MESI DA PARTE DELLA ENGINE (IMPRESA LOMBARDA PRODUTTRICE DI MOTORI) E DELLA TIRES, CHE INVECE FORNISCE LE RUOTE PER IL COD222. TUTTI GLI ALTRI FATTORI PRODUTTIVI IMPIEGATI (COMPRESA L'ENERGIA) DEVONO ESSERE PAGATI PRONTA CASSA. LA GARDENING È STATA COSTRETTA, INFINE, NEL CORSO DEL 2017, A CONCEDERE UNA ULTERIORE DILAZIONE DI PAGAMENTO DI 15 GIORNI, RISPETTO AI 30 GIORNI CHE AVEVANO DA SEMPRE COSTITUITO UN PUNTO FERMO NEI SUOI RAPPORTI CON I CLIENTI.

L'INTRODUZIONE DELLA LINEA AUTOMATIZZATA, TARATA PER UNA PRODUZIONE A REGIME DI 8.000 UNITÀ ALL'ANNO (MA IN GRADO COMUNQUE DI RAGGIUNGERE LA PRODUZIONE MASSIMA DI 8.500 UNITÀ/ANNO) AVREBBE COME EFFETTI:

- UNA RIDUZIONE, DOVUTA ALLA PRESENZA DI MINORI SCARTI, DEL 7% DEL COSTO DEI COMPONENTI E DELL'11% DEL COSTO DEGLI ACCESSORI UTILIZZATI PER PRODURRE UNA UNITÀ DI COD222. TALI RIDUZIONI, TUTTAVIA, SONO POSSIBILI SOLO ED ESCLUSIVAMENTE SE LA LINEA NON SUPERA IL VOLUME DI PRODUZIONE A REGIME;
- UNA RIDUZIONE, DOVUTA AL MINOR CONSUMO IN ATTIVITÀ, DELL'8% DEL COSTO DELL'ENERGIA. TALE RIDUZIONE È POSSIBILE SE LA LINEA OPERA ALMENO CON UN LIVELLO DI PRODUZIONE PARI A QUELLO A REGIME;
- LA POSSIBILITÀ DI VENDERE L'IMPIANTO DI PRE-ASSEMBLAGGIO AD UN PREZZO DI 250.000 €. GLI ALTRI IMPIANTI ED ATTREZZATURE, INVECE, DOVREBBERO ESSERE ROTTAMATI;
- LA NECESSITÀ DI FAR SEGUIRE DA TUTTI GLI OPERAI PRECEDENTEMENTE ADDETTI ALLA PRODUZIONE (NON LICENZIABILI) UN CORSO DI FORMAZIONE DELLA DURATA DI 13 MESI DEL COSTO DI 15.000 € (CONTABILIZZATI IN CONTO ECONOMICO E PAGATI PER METÀ NEL 2017 E PER LA RESTANTE METÀ NEL 2019). IN TAL MODO È POSSIBILE UTILIZZARE, ANCHE PER IL CONTROLLO DELLA LINEA, LE MEDESIME SQUADRE DI OPERAI GIÀ PRESENTI ALLA GARDENING;
- LA NECESSITÀ DI ASSUMERE UN NUOVO SUPERVISORE, A CUI VERREBBE CORRISPOSTO UNO STIPENDIO DI 30.000 €/ANNO, CHE SOVRINTENDA ALL'INTERA LINEA PRODUTTIVA.

AL TERMINE DELLA PRODUZIONE, NEL 2028, LA LINEA (ORMAI COMPLETAMENTE AMMORTIZZATA) POTREBBE ESSERE IN PARTE RICONVERTITA ED ESSERE CEDUTA AD UN PREZZO DI 200.000 €.

È INOLTRE NOTO CHE PER L'INVESTIMENTO LA GARDENING PENSA DI IMPIEGARE IN PARTI UGUALI CAPITALE PROPRIO (LA CUI REMUNERAZIONE AL NETTO DELLE IMPOSTE È PARI AL 6,8%) E CAPITALE DI DEBITO (DA REMUNERARE AL 12% AL LORDO DELLE IMPOSTE), E CHE L'ALIQUOTA FISCALE È PARI AL 40%.

PERALTRO, SI PREVEDE CHE DAL 2022 IN AVANTI, PER CONDIZIONI ESTERNE DI MERCATO (A PRESCINDERE DALLE SCELTE DI INVESTIMENTO DELLA GARDENING) I FATTORI PRODUTTIVI SUBISCANO LE SEGUENTI VARIAZIONI DI COSTO: COMPONENTI DI BASE + 3% ALL'ANNO; MOTORE -1% ALL'ANNO; RUOTE +5% ALL'ANNO; ACCESSORI -2% ALL'ANNO; ENERGIA -1% ALL'ANNO.

DOMANDA 1

VALUTARE L'ALTERNATIVA DI INVESTIMENTO ATTRAVERSO IL CRITERIO DEL VALORE ATTUALE NETTO O NET PRESENT VALUE (NPV), ADOTTANDO LA LOGICA DEL CAPITALE INVESTITO AL NETTO DELLE IMPOSTE.

DOMANDA 2

VALUTARE L'ALTERNATIVA DI INVESTIOTMENTO ATTRAVERSO IL CRITERIO DELL'INDICE DI PROFITABILITÀ O PROFITABILITY INDEX (PI), ADOTTANDO LA LOGICA DEL CAPITALE INVESTITO AL NETTO DELLE IMPOSTE.

DOMANDA 3

VALUTARE L'ALTERNATIVA DI INVESTIMENTO ATTRAVERSO IL CRITERIO DEL TASSO INTERNO DI RITORNO O INTERNAL RATE OF RETURN (IRR), ADOTTANDO LA LOGICA DEL CAPITALE INVESTITO AL NETTO DELLE IMPOSTE.

DOMANDA 4

VALUTARE L'ALTERNATIVE DI INVESTIMENTO ATTRAVERSO IL CRITERIO DEL TEMPO DI RIPAGAMENTO ATTUALIZZATO O PAYBACK TIME (PBT) ATTUALIZZATO, ADOTTANDO LA LOGICA DEL CAPITALE INVESTITO AL NETTO DELLE IMPOSTE.

DOMANDA 5

CONFRONTARE E DISCUTERE I RISULTATI OTTENUTI ATTRAVERSO L'APPLICAZIONE DEI CRITERI PRECEDENTI, COMMENTANDO E MOTIVANDO OPPORTUNAMENTE L'INSORGERE DI VALUTAZIONI CONCORDANTI O DISCORDANTI A FRONTE DELL'UTILIZZO DEI DIVERSI MODELLI (ALLA LUCE DEI LORO OBIETTIVI E CARATTERISTICHE).

NOTA BENE: IL/LA CANDIDATO/A E' CHIAMATO A FORMULARE (E GIUSTIFICARE) OPPORTUNE IPOTESI QUALORA ALCUNI DATI O INFORMAZIONI POTENZIALMENTE UTILI RISULTASSERO MANCANTI E/O APPARENTEMENTE INCOERENTI NEL TESTO DI CUI SOPRA. LA CAPACITA' DEL/LA CANDIDATO/A DI RISOLVERE PROBLEMI COMPLESSI IN PRESENZA DI DATI E INFORMAZIONI MANCANTI E/O INCOERENTI ATTRAVERSO LA FORMULAZIONE E L'UTILIZZO DI OPPORTUNE IPOTESI E' ESSA STESSA OGGETTO DI VALUTAZIONE.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 13 SETTEMBRE 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 7

Un sistema di termovalorizzazione di rifiuti solidi urbani (RSU) necessita del dimensionamento di un impianto a vapore. Assegnata la capacità del sistema per una potenza elettrica erogata dalla turbina pari a 10 MW, il candidato dovrà individuare l'assetto del ciclo a vapore d'acqua, con riferimento a pressione e temperatura massima, alla pressione minima, al numero di (eventuali) risurriscaldamenti, spillamenti, ecc. Una volta stilata l'analisi energetica con i flussi di massa ed energia per i componenti principali dell'impianto (turbina, condensatore, ecc.), si richiede anche un proporzionamento di massima (dimensioni della girante, velocità di azionamento) della pompa (o delle pompe) dell'impianto a vapore.

Nella scelta delle assunzioni di calcolo (pressioni, temperature, rendimenti, ecc.), il candidato faccia il dovuto riferimento allo stato dell'arte.

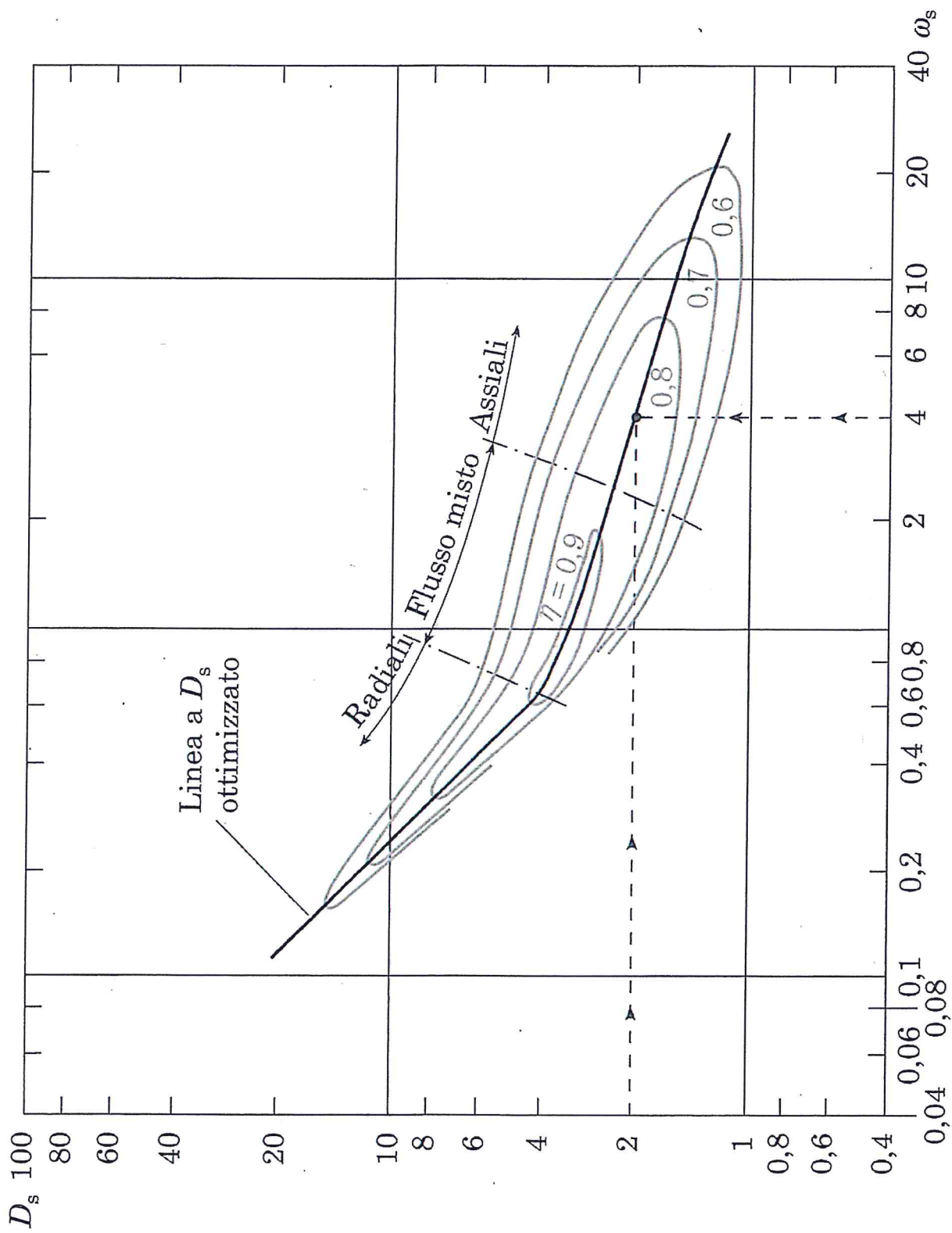


tabelle termodinamiche: acqua in condizioni di saturazione

T [°C]	P [MPa]	L	V	L	V	L	V	L	V
		ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ³]	v [m ³ /kg]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	s [kJ/kg-K]
5	0.0009	1000	0.007	1.000E-03	1.470E+02	21	2510	0.076	9.025
15	0.0017	999	0.013	1.001E-03	7.788E+01	63	2528	0.224	8.780
25	0.0032	997	0.023	1.003E-03	4.334E+01	105	2547	0.367	8.557
35	0.0056	994	0.040	1.006E-03	2.521E+01	147	2565	0.505	8.352
45	0.0096	990	0.066	1.010E-03	1.525E+01	188	2582	0.639	8.163
55	0.0158	986	0.105	1.015E-03	9.564E+00	230	2600	0.768	7.990
65	0.0250	981	0.161	1.020E-03	6.194E+00	272	2618	0.894	7.830
75	0.0386	975	0.242	1.026E-03	4.129E+00	314	2635	1.016	7.681
85	0.0579	969	0.354	1.032E-03	2.826E+00	356	2651	1.135	7.543
95	0.0846	962	0.505	1.040E-03	1.981E+00	398	2668	1.250	7.415
105	0.1209	955	0.705	1.047E-03	1.418E+00	440	2683	1.363	7.295
115	0.1692	947	0.965	1.056E-03	1.036E+00	483	2699	1.474	7.183
125	0.2322	939	1.299	1.065E-03	7.700E-01	525	2713	1.582	7.077
135	0.3132	931	1.719	1.075E-03	5.817E-01	568	2727	1.687	6.977
145	0.4157	922	2.242	1.085E-03	4.460E-01	611	2740	1.791	6.883
155	0.5435	912	2.886	1.096E-03	3.465E-01	654	2752	1.892	6.793
165	0.7009	903	3.671	1.108E-03	2.724E-01	697	2763	1.992	6.707
175	0.8926	892	4.617	1.121E-03	2.166E-01	741	2773	2.091	6.624
185	1.1235	882	5.750	1.134E-03	1.739E-01	785	2781	2.188	6.545
195	1.3988	870	7.098	1.149E-03	1.409E-01	830	2789	2.283	6.468
205	1.7243	859	8.690	1.165E-03	1.151E-01	875	2795	2.378	6.393
215	2.1058	847	10.562	1.181E-03	9.468E-02	921	2799	2.471	6.320
225	2.5497	834	12.755	1.199E-03	7.840E-02	967	2802	2.564	6.248
235	3.0625	820	15.314	1.219E-03	6.530E-02	1014	2803	2.656	6.178
245	3.6512	806	18.297	1.240E-03	5.465E-02	1062	2802	2.748	6.107
255	4.3229	791	21.768	1.264E-03	4.594E-02	1110	2799	2.839	6.037
265	5.0853	776	25.809	1.289E-03	3.875E-02	1160	2794	2.931	5.966
275	5.9464	759	30.520	1.318E-03	3.277E-02	1211	2785	3.022	5.894
285	6.9147	741	36.028	1.349E-03	2.776E-02	1263	2774	3.115	5.821
295	7.9991	722	42.501	1.385E-03	2.353E-02	1317	2759	3.208	5.745
305	9.2094	702	50.167	1.425E-03	1.993E-02	1373	2739	3.303	5.666
315	10.5560	679	59.344	1.472E-03	1.685E-02	1432	2715	3.400	5.582
325	12.0510	654	70.506	1.528E-03	1.418E-02	1494	2684	3.500	5.491
335	13.7070	626	84.407	1.597E-03	1.185E-02	1560	2645	3.605	5.391
345	15.5410	594	102.360	1.685E-03	9.769E-03	1632	2595	3.718	5.276
355	17.5700	553	127.090	1.808E-03	7.868E-03	1714	2527	3.844	5.138
365	19.8210	496	166.350	2.017E-03	6.012E-03	1818	2423	4.001	4.950
373.5	21.9460	381	263.600	2.627E-03	3.794E-03	1996	2195	4.270	4.579

- T temperatura
- p pressione
- ρ massa volumica
- v volume specifico alla massa
- h entalpia specifica alla massa
- s entropia specifica alla massa
- L liquido
- V vapore

tabelle termodinamiche: acqua in condizioni di saturazione

T [°C]	P [MPa]	L	V	L	V	L	V	L	V
		ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ³]	v [m ³ /kg]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	s [kJ/kg-K]
7.0	0.0010	1000	0.008	1.000E-03	1.292E+02	29	2514	0.106	8.975
24.1	0.0030	997	0.022	1.003E-03	4.565E+01	101	2545	0.354	8.576
32.9	0.0050	995	0.035	1.005E-03	2.819E+01	138	2561	0.476	8.394
39.0	0.0070	993	0.049	1.008E-03	2.052E+01	163	2572	0.559	8.275
43.8	0.0090	991	0.062	1.009E-03	1.620E+01	183	2580	0.622	8.186
45.8	0.0100	990	0.068	1.010E-03	1.467E+01	192	2584	0.649	8.149
69.1	0.0300	978	0.191	1.022E-03	5.228E+00	289	2625	0.944	7.768
81.3	0.0500	971	0.309	1.030E-03	3.240E+00	341	2645	1.091	7.593
89.9	0.0700	965	0.423	1.036E-03	2.365E+00	377	2659	1.192	7.479
96.7	0.0900	961	0.535	1.041E-03	1.869E+00	405	2670	1.270	7.394
99.6	0.1000	959	0.590	1.043E-03	1.694E+00	418	2675	1.303	7.359
133.5	0.3000	932	1.651	1.073E-03	6.058E-01	561	2725	1.672	6.992
151.8	0.5000	915	2.668	1.093E-03	3.748E-01	640	2748	1.860	6.821
165.0	0.7000	903	3.666	1.108E-03	2.728E-01	697	2763	1.992	6.707
175.4	0.9000	892	4.654	1.121E-03	2.149E-01	743	2773	2.094	6.621
179.9	1.0000	887	5.145	1.127E-03	1.944E-01	763	2777	2.138	6.585
212.4	2.0000	850	10.042	1.177E-03	9.959E-02	909	2798	2.447	6.339
233.9	3.0000	822	15.001	1.217E-03	6.666E-02	1008	2803	2.646	6.186
250.4	4.0000	798	20.090	1.253E-03	4.978E-02	1088	2801	2.797	6.070
263.9	5.0000	777	25.351	1.286E-03	3.945E-02	1155	2794	2.921	5.974
275.6	6.0000	758	30.818	1.319E-03	3.245E-02	1214	2785	3.028	5.890
285.8	7.0000	740	36.525	1.352E-03	2.738E-02	1268	2773	3.122	5.815
295.0	8.0000	722	42.507	1.385E-03	2.353E-02	1317	2759	3.208	5.745
303.3	9.0000	705	48.804	1.418E-03	2.049E-02	1364	2743	3.287	5.679
311.0	10.0000	688	55.463	1.453E-03	1.803E-02	1408	2726	3.361	5.616
318.1	11.0000	672	62.541	1.489E-03	1.599E-02	1450	2706	3.430	5.555
324.7	12.0000	655	70.106	1.526E-03	1.426E-02	1492	2685	3.497	5.494
330.9	13.0000	638	78.245	1.567E-03	1.278E-02	1532	2663	3.561	5.434
336.7	14.0000	621	87.069	1.610E-03	1.149E-02	1571	2638	3.623	5.373
342.2	15.0000	604	96.727	1.657E-03	1.034E-02	1610	2611	3.685	5.311
347.4	16.0000	585	107.420	1.709E-03	9.309E-03	1650	2581	3.746	5.246
352.3	17.0000	565	119.460	1.769E-03	8.371E-03	1690	2548	3.808	5.179
357.0	18.0000	544	133.300	1.840E-03	7.502E-03	1732	2510	3.872	5.106
361.5	19.0000	519	149.760	1.927E-03	6.677E-03	1777	2466	3.940	5.026
365.8	20.0000	490	170.500	2.040E-03	5.865E-03	1827	2412	4.016	4.931
369.8	21.0000	453	200.160	2.206E-03	4.996E-03	1888	2339	4.106	4.808
373.7	22.0000	370	274.160	2.704E-03	3.648E-03	2011	2173	4.295	4.545

- T temperatura
- p pressione
- ρ massa volumica
- v volume specifico alla massa
- h entalpia specifica alla massa
- s entropia specifica alla massa
- L liquido
- V vapore

Tabelle termodinamiche: vapore d'acqua surriscaldato

p [Mpa]	0.005			0.010			0.020		
T [°C]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
50	0.034	2593	8.498	0.067	2592	8.174			
75	0.031	2641	8.639	0.062	2640	8.317	0.125	2638	7.993
100	0.029	2688	8.770	0.058	2688	8.449	0.116	2686	8.126
125	0.027	2736	8.893	0.054	2735	8.573	0.109	2734	8.251
150	0.026	2783	9.010	0.051	2783	8.689	0.103	2782	8.368
175	0.024	2832	9.120	0.048	2831	8.800	0.097	2831	8.479
200	0.023	2880	9.225	0.046	2880	8.905	0.092	2879	8.584
225	0.022	2929	9.326	0.044	2928	9.005	0.087	2928	8.685
250	0.021	2978	9.422	0.041	2977	9.102	0.083	2977	8.781
275	0.020	3027	9.514	0.040	3027	9.194	0.079	3027	8.874
300	0.019	3077	9.603	0.038	3077	9.283	0.076	3077	8.963
325	0.018	3127	9.689	0.036	3127	9.368	0.072	3127	9.048
350	0.017	3178	9.771	0.035	3178	9.451	0.070	3177	9.131
375	0.017	3229	9.852	0.033	3229	9.532	0.067	3228	9.212
400	0.016	3280	9.929	0.032	3280	9.609	0.064	3280	9.289
425	0.016	3332	10.005	0.031	3332	9.685	0.062	3332	9.365
450	0.015	3384	10.078	0.030	3384	9.758	0.060	3384	9.438
475	0.014	3437	10.150	0.029	3437	9.830	0.058	3437	9.510
500	0.014	3490	10.220	0.028	3490	9.900	0.056	3490	9.580
525	0.014	3543	10.288	0.027	3543	9.968	0.054	3543	9.648
550	0.013	3597	10.354	0.026	3597	10.034	0.053	3597	9.714
575	0.013	3652	10.419	0.026	3652	10.099	0.051	3651	9.780
600	0.012	3706	10.483	0.025	3706	10.163	0.050	3706	9.843

p [Mpa]	0.050			0.100			0.200		
T [°C]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
100	0.293	2682	7.695	0.590	2676	7.361			
125	0.274	2732	7.823	0.550	2727	7.493	1.114	2717	7.153
150	0.257	2780	7.941	0.516	2777	7.615	1.042	2769	7.281
175	0.243	2829	8.053	0.487	2826	7.728	0.980	2820	7.398
200	0.230	2878	8.159	0.460	2876	7.836	0.926	2871	7.508
225	0.218	2927	8.260	0.437	2925	7.937	0.877	2921	7.612
250	0.207	2976	8.357	0.416	2975	8.035	0.834	2971	7.710
275	0.198	3026	8.450	0.396	3024	8.128	0.795	3022	7.804
300	0.189	3076	8.539	0.379	3075	8.217	0.760	3072	7.894
325	0.181	3126	8.625	0.363	3125	8.303	0.727	3123	7.981
350	0.174	3177	8.708	0.348	3176	8.387	0.698	3174	8.064
375	0.167	3228	8.788	0.335	3227	8.467	0.671	3225	8.145
400	0.161	3279	8.866	0.322	3279	8.545	0.645	3277	8.224
425	0.155	3331	8.942	0.311	3331	8.621	0.622	3329	8.300
450	0.150	3384	9.015	0.300	3383	8.695	0.600	3382	8.373
475	0.145	3436	9.087	0.290	3436	8.766	0.580	3434	8.445
500	0.140	3489	9.157	0.280	3489	8.836	0.561	3488	8.515
525	0.136	3543	9.225	0.272	3542	8.904	0.544	3541	8.584
550	0.132	3597	9.291	0.263	3596	8.971	0.527	3595	8.650
575	0.128	3651	9.356	0.256	3651	9.036	0.511	3650	8.715
600	0.124	3706	9.420	0.248	3706	9.100	0.497	3705	8.779

T temperatura
 p pressione
 ρ massa volumica
 h entalpia specifica alla massa
 s entropia specifica alla massa

Tabelle termodinamiche: vapore d'acqua surriscaldato

p [Mpa]	0.5			1.0			2.0		
T	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
[°C]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]
175	2.503	2801	6.943						
200	2.353	2856	7.061	4.854	2828	6.696			
225	2.223	2909	7.170	4.553	2887	6.817	9.633	2836	6.416
250	2.108	2961	7.272	4.297	2943	6.927	8.969	2903	6.548
275	2.006	3013	7.369	4.074	2998	7.029	8.427	2965	6.663
300	1.914	3065	7.461	3.876	3052	7.125	7.968	3024	6.768
325	1.830	3116	7.550	3.699	3105	7.216	7.568	3082	6.866
350	1.754	3168	7.635	3.540	3158	7.303	7.215	3138	6.958
375	1.684	3220	7.716	3.395	3211	7.386	6.899	3193	7.046
400	1.620	3272	7.796	3.262	3265	7.467	6.613	3248	7.129
425	1.561	3325	7.872	3.139	3318	7.545	6.353	3303	7.209
450	1.506	3378	7.947	3.026	3371	7.620	6.115	3358	7.287
475	1.454	3431	8.019	2.921	3425	7.693	5.895	3413	7.361
500	1.407	3485	8.089	2.824	3479	7.764	5.692	3468	7.434
525	1.362	3538	8.158	2.733	3534	7.833	5.504	3524	7.504
550	1.320	3593	8.225	2.648	3588	7.901	5.328	3579	7.573
575	1.281	3647	8.290	2.568	3643	7.967	5.164	3635	7.639
600	1.244	3703	8.354	2.493	3699	8.031	5.010	3691	7.704

p [Mpa]	5.0			10.0			20.0		
T	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
[°C]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]
275	24.132	2840	6.057						
300	22.053	2926	6.211						
325	20.495	3001	6.339	50.308	2810	5.760			
350	19.242	3069	6.452	44.564	2924	5.946			
375	18.193	3134	6.554	40.719	3016	6.091	130.270	2603	5.228
400	17.290	3197	6.648	37.827	3097	6.214	100.500	2817	5.553
425	16.497	3258	6.737	35.509	3172	6.323	87.129	2953	5.751
450	15.792	3317	6.821	33.578	3242	6.422	78.609	3062	5.904
475	15.157	3376	6.901	31.923	3310	6.514	72.423	3156	6.032
500	14.581	3435	6.978	30.478	3375	6.600	67.598	3241	6.145
525	14.054	3493	7.052	29.196	3439	6.681	63.661	3321	6.246
550	13.570	3551	7.124	28.047	3502	6.759	60.346	3396	6.339
575	13.122	3609	7.193	27.006	3564	6.833	57.492	3469	6.426
600	12.706	3667	7.261	26.057	3626	6.905	54.991	3539	6.508

- T temperatura
- p pressione
- ρ massa volumica
- h entalpia specifica alla massa
- s entropia specifica alla massa

Tabelle termodinamiche: vapore d'acqua surriscaldato

T [°C]	50			100			150		
p	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
[Mpa]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]
0.002	0.013	2594	8.923	0.012	2688	9.194	0.010	2784	9.433
0.004	0.027	2594	8.601	0.023	2688	8.873	0.020	2784	9.113
0.006	0.040	2593	8.413	0.035	2688	8.686	0.031	2783	8.926
0.008	0.054	2593	8.279	0.047	2688	8.552	0.041	2783	8.793
0.01	0.067	2592	8.174	0.058	2688	8.449	0.051	2783	8.689
0.02				0.116	2686	8.126	0.103	2782	8.368
0.04				0.234	2684	7.801	0.206	2781	8.046
0.06				0.352	2681	7.608	0.309	2780	7.856
0.08				0.470	2679	7.470	0.412	2778	7.720
0.1				0.590	2676	7.361	0.516	2777	7.615
0.2							1.042	2769	7.281
0.4							2.124	2753	6.931

T [°C]	200			250			300		
p	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
[Mpa]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]	[kg/m ³]	[kJ/kg]	[kJ/kg-K]
0.002	0.009	2880	9.648	0.008	2978	9.845	0.008	3077	10.026
0.004	0.018	2880	9.328	0.017	2978	9.525	0.015	3077	9.706
0.006	0.027	2880	9.141	0.025	2978	9.337	0.023	3077	9.519
0.008	0.037	2880	9.008	0.033	2978	9.205	0.030	3077	9.386
0.01	0.046	2880	8.905	0.041	2977	9.102	0.038	3077	9.283
0.02	0.092	2879	8.584	0.083	2977	8.781	0.076	3077	8.963
0.04	0.184	2878	8.263	0.166	2977	8.460	0.151	3076	8.642
0.06	0.276	2877	8.074	0.249	2976	8.272	0.227	3076	8.454
0.08	0.368	2876	7.940	0.332	2975	8.139	0.303	3075	8.321
0.1	0.460	2876	7.836	0.416	2975	8.035	0.379	3075	8.217
0.2	0.926	2871	7.508	0.834	2971	7.710	0.760	3072	7.894
0.4	1.872	2861	7.172	1.680	2965	7.380	1.527	3067	7.568
0.6	2.840	2851	6.968	2.539	2958	7.183	2.302	3062	7.374
0.8	3.833	2840	6.818	3.411	2950	7.040	3.085	3057	7.235
1	4.854	2828	6.696	4.297	2943	6.927	3.876	3052	7.125
2				8.97	2903	6.548	7.97	3024	6.768
4							16.99	2962	6.364
6							27.63	2886	6.070
8							41.19	2787	5.794

T temperatura
 p pressione
 ρ massa volumica
 h entalpia specifica alla massa
 s entropia specifica alla massa

Tabelle termodinamiche: vapore d'acqua surriscaldato

T [°C]	350			400			450		
p [Mpa]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
0.002	0.007	3178	10.194	0.006	3280	10.352	0.006	3384	10.501
0.004	0.014	3178	9.874	0.013	3280	10.032	0.012	3384	10.181
0.006	0.021	3178	9.687	0.019	3280	9.845	0.018	3384	9.994
0.008	0.028	3178	9.554	0.026	3280	9.712	0.024	3384	9.861
0.01	0.035	3178	9.451	0.032	3280	9.609	0.030	3384	9.758
0.02	0.070	3177	9.131	0.064	3280	9.289	0.060	3384	9.438
0.04	0.139	3177	8.811	0.129	3280	8.969	0.120	3384	9.118
0.06	0.209	3177	8.623	0.193	3279	8.782	0.180	3383	8.931
0.08	0.279	3176	8.490	0.258	3279	8.649	0.240	3383	8.798
0.1	0.348	3176	8.387	0.322	3279	8.545	0.300	3383	8.695
0.2	0.698	3174	8.064	0.645	3277	8.224	0.600	3382	8.373
0.4	1.401	3170	7.740	1.294	3274	7.900	1.203	3379	8.051
0.6	2.109	3166	7.548	1.947	3271	7.710	1.809	3377	7.861
0.8	2.822	3162	7.411	2.602	3268	7.573	2.416	3374	7.726
1	3.540	3158	7.303	3.262	3265	7.467	3.026	3371	7.620
2	7.22	3138	6.958	6.61	3248	7.129	6.11	3358	7.287
4	15.04	3093	6.584	13.62	3215	6.771	12.49	3331	6.939
6	23.67	3044	6.336	21.09	3178	6.543	19.17	3303	6.722
8	33.36	2988	6.132	29.12	3139	6.366	26.18	3273	6.558
10	44.56	2924	5.946	37.83	3097	6.214	33.58	3242	6.422
20				100.5	2817	5.553	78.6	3062	5.904
40				523.3	1931	4.115	270.9	2512	4.945
60				612.4	1843	3.932	479.5	2180	4.414
80				659.5	1809	3.834	563.7	2088	4.234
100				692.9	1791	3.764	614.2	2045	4.127

T [°C]	500			550			600		
p [Mpa]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]	ρ [kg/m ³]	h [kJ/kg]	s [kJ/kg-K]
0.002	0.006	3490	10.643	0.005	3597	10.777	0.005	3706	10.906
0.004	0.011	3490	10.323	0.011	3597	10.457	0.010	3706	10.586
0.006	0.017	3490	10.136	0.016	3597	10.270	0.015	3706	10.399
0.008	0.022	3490	10.003	0.021	3597	10.137	0.020	3706	10.266
0.01	0.028	3490	9.900	0.026	3597	10.034	0.025	3706	10.163
0.02	0.056	3490	9.580	0.053	3597	9.714	0.050	3706	9.843
0.04	0.112	3489	9.260	0.105	3597	9.394	0.099	3706	9.523
0.06	0.168	3489	9.072	0.158	3597	9.207	0.149	3706	9.336
0.08	0.224	3489	8.939	0.211	3597	9.074	0.199	3706	9.203
0.1	0.280	3489	8.836	0.263	3596	8.971	0.248	3706	9.100
0.2	0.561	3488	8.515	0.527	3595	8.650	0.497	3705	8.779
0.4	1.124	3486	8.193	1.055	3594	8.329	0.994	3703	8.458
0.6	1.689	3483	8.004	1.585	3592	8.140	1.493	3702	8.270
0.8	2.256	3481	7.869	2.116	3590	8.005	1.993	3700	8.135
1	2.824	3479	7.764	2.648	3588	7.901	2.493	3699	8.031
2	5.69	3468	7.434	5.33	3579	7.573	5.01	3691	7.704
4	11.57	3446	7.092	10.79	3560	7.236	10.12	3675	7.371
6	17.65	3423	6.883	16.39	3541	7.031	15.32	3659	7.169
8	23.94	3400	6.727	22.14	3522	6.880	20.63	3642	7.022
10	30.48	3375	6.600	28.05	3502	6.759	26.06	3626	6.905
20	67.6	3241	6.145	60.3	3396	6.339	55.0	3539	6.508
40	177.8	2907	5.474	143.2	3154	5.786	123.6	3350	6.017
60	338.7	2570	4.936	252.8	2902	5.352	206.9	3157	5.653
80	457.0	2397	4.647	362.3	2710	5.039	295.5	2988	5.367
100	528.3	2316	4.490	444.6	2596	4.841	374.2	2865	5.158

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 13 SETTEMBRE 2017
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 8

In figura 1 è riportata schematicamente una macchina per il taglio di lamine di legno. Essa è costituita da un piano (4) sul quale sono disposte le lastre da lavorare e da un portale fisso (1) lungo cui può scorrere, in direzione orizzontale (2), una slitta sulla quale è posizionata una sega circolare (5) azionata da un motore elettrico (8).

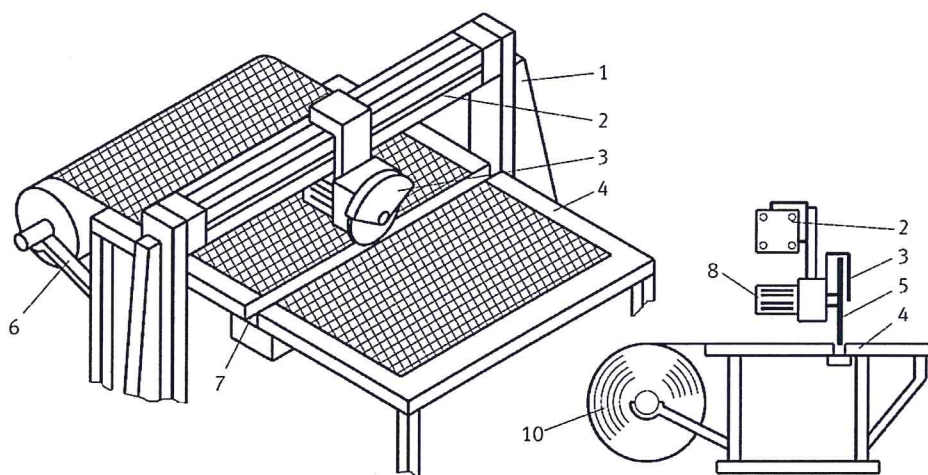


Figura 1

In figura 2 è schematizzata la slitta a cinghia che movimentata la slitta in direzione orizzontale. Essa è azionata da un motore elettrico che, tramite un riduttore, è calettato sulla puleggia (6).

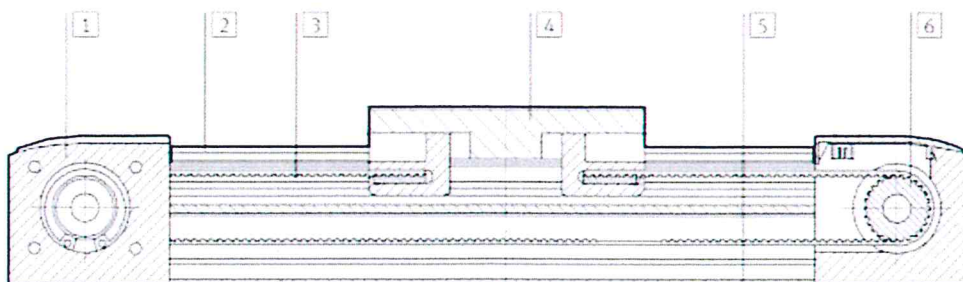


Figura 2

Il candidato esegua:

- Il dimensionamento della trave orizzontale sapendo che la massa traslante dell'utensile è pari a $m=25$ kg e che la massima deflessione ammissibile è $\delta=0.1$ mm.
- Il dimensionamento del sistema di azionamento che deve muovere la testa traslante (motore + riduttore) e il dimensionamento del sistema a cinghia essendo noti il tempo minimo di azionamento ($t_a=1.5$ s) richiesto per eseguire la corsa $s=1$ m.
- Il disegno tecnico della puleggia (6) riportante quote, tolleranze richieste, finiture superficiali in accordo con la normativa ISO

Il candidato inoltre descriva gli accorgimenti necessari alla messa in sicurezza della macchina in accordo con la Direttiva Macchine.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 13 SETTEMBRE 2017
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 9

Si consideri un serbatoio di azoto liquido avente recipiente interno con diametro di 1 m e volume di $2,5 \text{ m}^3$. Si assuma che il liquido occupi al più il 95% del volume disponibile e che la pressione interna del gas sia 20 bar. Si consideri che la temperatura di ebollizione dell'azoto è $-196 \text{ }^\circ\text{C}$ e la sua densità allo stato liquido è $0,8 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

Si prenda in esame il recipiente interno del serbatoio e si sviluppino le considerazioni inerenti ai punti che seguono.

- 1) Si selezioni il materiale con cui realizzare il recipiente, motivando la scelta.
- 2) Si valuti lo spessore del recipiente spiegando da quali criteri deriva tale valutazione .
- 3) Si proponga un processo produttivo adatto alla realizzazione del recipiente.
- 4) Si dica di quali dispositivi di sicurezza è opportuno dotare il serbatoio.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:
INGEGNERE INDUSTRIALE
I SESSIONE 2017 - 13 SETTEMBRE 2017
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

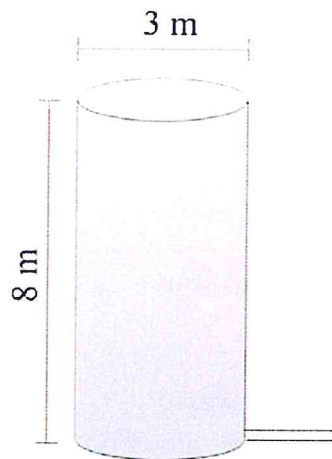
III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE A

PROVA PRATICA

TEMA N. 10

Si consideri un serbatoio (altezza 8 m e diametro 3 m) contenente al 90% una sostanza liquida infiammabile e mantenuto a pressione atmosferica con una corrente di azoto, posizionato all'interno di un bacino di contenimento circolare e posto in un parco serbatoi all'aperto.



Il reagente contenuto all'interno del serbatoio deve essere trasferito un'altra zona dell'impianto; l'operazione è eseguita tramite una tubazione in acciaio con diametro interno 150mm connessa al fondo del serbatoio; a causa di un incidente, a distanza di 20m dal serbatoio il tubo viene troncato di netto, fortunatamente ancora all'interno del bacino di contenimento. Dal fondo del serbatoio al punto di rottura, la tubazione segue un percorso orizzontale e presenta una valvola a saracinesca (completamente aperta), 1 angolo di 90° e 1 angolo di 180°.

- Si calcoli la portata massima scaricata dalla rottura (si ipotizzi come valore iniziale $Re=300000$).

Purtroppo l'incidente ha danneggiato anche il sistema di controllo della valvola, impedendone l'attuazione. Si ha quindi la fuoriuscita di tutto il liquido contenuto nel serbatoio.

- Si valuti la dimensione massima che raggiunge la pozza in presenza di innesco immediato.
- Considerando la pozza a T_{suolo} si vuole valutare l'irraggiamento sul tetto di un serbatoio di altezza 3m e diametro 4m, il cui centro si trova a 100 m dal bordo del bacino.
- Si ripetano i conti considerando la pozza a T_{aria} .

Dati utili al calcolo

- Rugosità tubazione, $k = 0.069$ mm
- Velocità vento = 5 m/s a 10 m di quota
- Diametro bacino di contenimento = 25 m
- Temperatura aria = 25° C
- Temperatura suolo = 35° C
- Umidità relativa = 85 %
- Frazione irraggiata = 0.3

Dati sostanza	Flash point	ρ	Δh_{comb}	μ	Velocità di bruciamento ponderale
	30°C	717 kg/m ³	-43000 kJ/kg	6.6E-4 Pa·s	0.082 kg/(s m ²)
Pipe fitting		$L_{equivalent}/d_p$			
Globe valve, wide open		≈ 300			
Angle valve, wide open		≈ 170			
Gate valve, wide open		≈ 7			
¾ open		≈ 40			
½ open		≈ 200			
¼ open		≈ 900			
90° elbow, standard		30			
long radius		20			
45° elbow, standard		15			
Tee, used as elbow, entering the stem		90			
Tee, used as elbow, entering one of two side arms		60			
Tee, straight through		20			
180° close return bend		75			
Ordinary entrance (pipe flush with wall of vessel)		16			
Borda entrance (pipe protruding into vessel)		30			
Rounded entrance, union, coupling		Negligible			
Sudden enlargement from d_p to D					
Laminar flow in d_p		$\frac{Re}{32} \left[1 - \left(\frac{d_p^2}{D^2} \right) \right]^2$			
Turbulent flow in d_p		$\frac{1}{4} f_{F,ind_p} \left[1 - \left(\frac{d_p^2}{D^2} \right) \right]^2$			
Sudden contraction from D to d_p ; all conditions except high-speed gas flow where $P_1/P_2 \geq 2$					
Laminar flow in d_p		$\frac{Re}{160} \left[1.25 - \left(\frac{d_p^2}{D^2} \right) \right]$			
Turbulent flow in d_p		$\frac{1}{10} f_{F,ind_p} \left[1.25 - \left(\frac{d_p^2}{D^2} \right) \right]$			

Moody Diagram

