

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 1**

Il Candidato svolga, a scelta, **UNO** dei seguenti quesiti.

1. QUESITO - Aeronautica:

Un turboreattore deve rispondere ai seguenti requisiti di progettazione:

- Spinta massima al decollo compresa tra 350 e 400 [kN]
- Consumo specifico compreso tra 0.065 e 0.08 [kg/hN]
- BPR non superiore a 10 (nel caso di turbofan)
- Rapporto di compressione totale non superiore a 50

Il candidato scelga il tipo di propulsore ed effettui il calcolo del ciclo termodinamico e delle prestazioni. Effettui un dimensionamento di massima di presa dinamica ed ugello, fissando opportunamente i dati necessari giustificandone in maniera critica la scelta.

**OPPURE**

2. QUESITO - Spaziale:

Con riferimento al caso di una sonda spaziale destinata a raggiungere le lune di Marte, le cui caratteristiche di sistema sono riportate di seguito, il candidato discuta le possibili soluzioni progettuali per il sistema propulsivo; esegua, quindi, il dimensionamento dei serbatoi, del sistema di alimentazione, evidenzi una possibile architettura dell'intero sistema propulsivo primario e secondario, per rispondere ai requisiti di manovra di controllo di traiettoria e di station keeping. Il candidato assuma e giustifichi opportunamente i dati necessari alla risoluzione e non forniti. Si assumano i seguenti dati:

Altezza pericentro orbita marziana	9200 km
Altezza apocentro orbita marziana	23600 km
Massa a secco	1200 kg
Carico pagante	80 kg
Massima massa al lancio	3100 kg
Richiesta di potenza della piattaforma	700W (prop chimica); 1600W (prop elettrica)

Inviluppo geometrico del corpo centrale, in configurazione stivata	1,5x1,5x3,5 m
Vita operativa minima, a Marte (i.e. escluso trasferimento)	3 anni
$Massa_{\text{marte}}/massa_{\text{terra}}$	0,107
Raggio medio Marte	3389,5 km
Accuratezza massima di puntamento	0,1°

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 2**

Si desidera progettare un sistema di azionamento di un sistema di attuazione elettrico di una macchina utensile CNC. Il sistema motore deve garantire elevate prestazioni dinamiche e precisione nel controllo della velocità e della coppia, al fine di migliorare la qualità della lavorazione e ridurre i tempi ciclo.

**Specifiche del sistema**

**Motore Elettrico:**

Motore sincrono a magneti permanenti (PMSM) trifase.

Tensione nominale: 400 V

Potenza nominale: 5 kW

Velocità nominale: 3000 rpm

Coppia massima: 20 Nm

Encoder ottico ad alta risoluzione per il feedback di posizione e velocità

Resistenza statorica del motore: 0.5  $\Omega$

Induttanza statorica: 2 mH

Costante di coppia: 1.2 Nm/A

Inerzia del motore: 0.015 kg·m<sup>2</sup>

**Convertitore (inverter):**

Inverter trifase a modulazione di larghezza d'impulso (PWM)

Tensione di alimentazione DC: 600 V

Frequenza di commutazione: 10 kHz

**Carico meccanico**

Carico prevalentemente inerziale con variazione della coppia resistente in funzione del materiale lavorato

Inerzia equivalente al motore: 0.02 kg·m<sup>2</sup>

Coppia resistente massima prevista: 15 Nm

Variazioni di carico rapide durante le fasi di taglio

**Requisiti prestazionali:**

Tempo di risposta alla variazione di velocità: < 100 ms per variazioni del 50%

Errore stazionario sulla velocità: < 0.5%

Sovraelongazione massima ammessa: < 5%

Precisione nel mantenere la coppia anche a basse velocità

**Obiettivi:**

1. Individuare un modello del sistema ai fini della progettazione del sistema di controllo evidenziando le semplificazioni fatte, le modalità di funzionamento del sistema e individuando i limiti della modellazione introdotta.
2. Individuare i sensori necessari per poter progettare il sistema di controllo e discuterne le prestazioni e le problematiche.
3. Progettare un sistema di controllo della velocità e della coppia utilizzando un controllo vettoriale definendo le costanti dei regolatori PI per gli anelli di corrente e velocità e discuterne le prestazioni nelle condizioni indicate.
4. Indicare una possibile implementazione digitale del controllo individuato evidenziando le problematiche del passaggio da una implementazione a tempo continuo a una implementazione digitale discreta identificando eventualmente i nuovi parametri di controllo.
5. Discutere le problematiche legate alla sicurezza e al coordinamento di sistemi di controllo questo tipo in una macchina operatrice CNC e l'integrazione della stessa in un sistema di automazione di fabbrica.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
INGEGNERE INDUSTRIALE  
I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

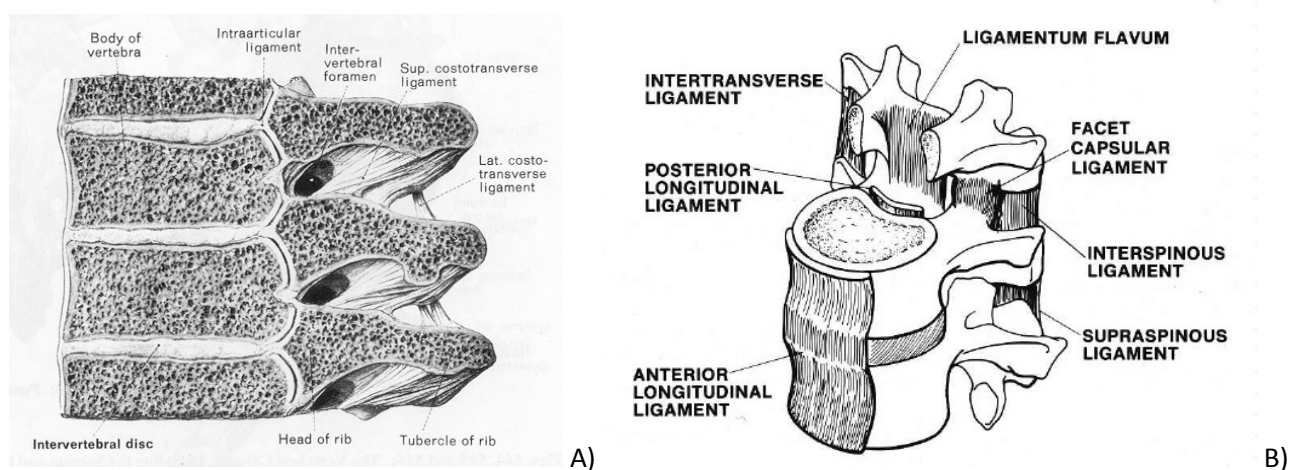
**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 3**

L'INTERVENTO DI CHIRURGIA DEI DISCHI INTERVERTEBRALI CERCA DI RISOLVERE ALCUNE DELLE SUE ESPRESSIONI PATOLOGICHE, QUALI ERNIA DISCALE, INSTABILITÀ ARTICOLARE, STENOSI DEL CANALE VERTEBRALE. I TRATTAMENTI CHIRURGICI ASSOCIATI A TALI PATOLOGIE SONO DIFFERENTI.



**FIGURA 1. STRUTTURA ANATOMICA DI QUATTRO VERTEBRE (A) E DEI LEGAMENTI PRESENTI (B)**

**PARTE 1**

1. SI CALCOLINO LE SOLLECITAZIONI A CUI È SOGGETTO UN DISCO INTERVERTEBRALE NATURALE, TENENDO CONTO DI UN SOLO LEGAMENTO INTERSPINOSO ESEGUENDO L'ANALISI CINEMATICA, IL CALCOLO DELLE AZIONI INTERNE E DEGLI SFORZI NEL DISCO.
2. SI CALCOLINO LE SOLLECITAZIONI, COME AL PUNTO 1, IN ASSENZA DEL LEGAMENTO INTERSPINOSO.
3. SI ESEGUA UN CONFRONTO CRITICO TRA I RISULTATI OTTENUTI AL PUNTO 1 E QUELLI OTTENUTI AL PUNTO 2.

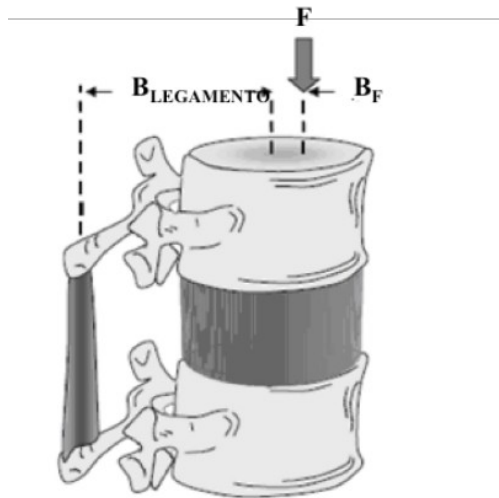
**PARTE 2**

1. SI ESPONGANO I POSSIBILI APPROCCI ATTUALMENTE UTILIZZATI NEGLI INTERVENTI DI CHIRURGIA SPINALE, DESCRIVENDO LE PRINCIPALI PROTESI IMPIEGATE PER LA RICOSTRUZIONE DEL DISCO INTERVERTEBRALE.
2. SI ILLUSTRINO I MATERIALI IMPIEGATI PER LA REALIZZAZIONE DELLE PROTESI DISCALI ATTUALMENTE IMPIEGATE IN AMBITO CLINICO

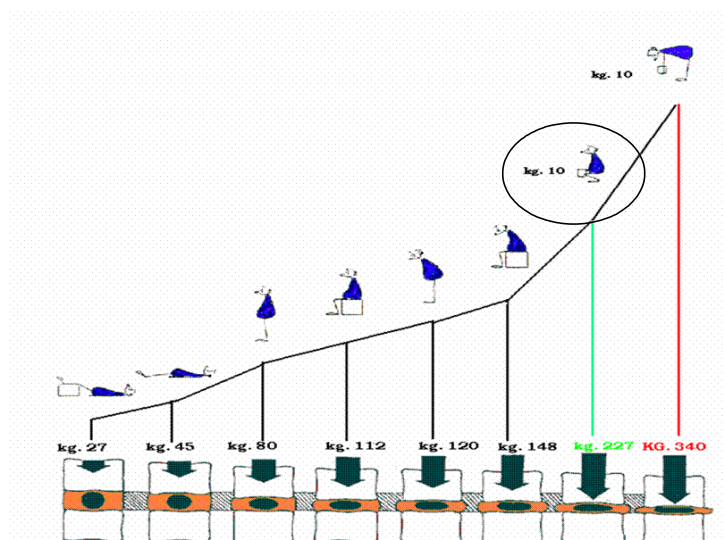
### PARTE 3

1. SI CALCOLINO LE SOLLECITAZIONI A CUI È SOGGETTA LA PROTESI DISCALE (SPECIFICANDO TUTTE LE MOTIVAZIONI CHE HANNO PORTATO IL CANDIDATO ALLA SCELTA DI UNA DETERMINATA TIPOLOGIA DI PROTESI), ESEGUENDO L'ANALISI CINEMATICA, IL CALCOLO DELLE AZIONI INTERNE E DEGLI SFORZI NEL DISCO.
2. SI COMMENTINO I RISULTATI OTTENUTI.
3. SI ILLUSTRINO QUALI SONO LE POSSIBILI PROBLEMATICHE CORRELATE ALL'IMPIEGO DI UNA PROTESI DISCALE E SI DESCRIVANO QUALI SONO/POTREBBERO ESSERE I POSSIBILI SVILUPPI DI RICERCA IN QUESTO SETTORE.

### ALLEGATI



**FIGURA 2.** SISTEMA COSTITUITO DA DUE VERTEBRE ADIACENTI, SEPARATE DA UN DISCO INTERVERTEBRALE E VINCOLATE TRA LORO DA UN SOLO LEGAMENTO INTERSPINOSO



**FIGURA 3.** CARICHI AGENTI SUL DISCO VERTEBRALE IN FUNZIONE DELL'AZIONE DELL'INDIVIDUO

**TABELLA 1.** VALORI DELLE GRANDEZZE GEOMETRICHE E DEI MODULI ELASTICI DEL LEGAMENTO INTERSPINOSO E DEL DISCO INTERVERTEBRALE

$B_{\text{LEGAMENTO}}$	4.0 CM
$R_{\text{LEGAMENTO}}$	0.2 CM
$L_{\text{LEGAMENTO}}$	1.0 CM
$E_{\text{LEGAMENTO}}$	30 MPA
$R_{\text{DISCO}}$	1.0 CM
$E_{\text{DISCO}}$	6 MPA
$F$	VEDI FIG.3
$B_{\text{FORZA}}$	0.5 CM

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 4**

In un'industria farmaceutica un brodo colturale, sensibile agli shock termici, deve essere portato da 15°C a 60°C per le successive fasi di processo.

L'operazione è effettuata in batch; ciascuna carica corrisponde a 970 kg di brodo. È disponibile vapore saturo secco a 1.5 bar, che non può essere utilizzato direttamente dato il rilevante salto termico, ma solo indirettamente mediante circolazione di acqua demineralizzata in un circuito chiuso. L'acqua, riscaldata dal vapore in uno scambiatore a piastre, cede successivamente potenza nella camicia del recipiente che contiene il brodo colturale.

Il recipiente è costituito da un corpo cilindrico di altezza pari al diametro interno (ID) e da due fondi ellittici, i cui semiassi maggiore (a) e minore (b) sono rispettivamente pari a ID/2 e a/2. I fondi sono pertanto ellissoidi di rotazione attorno al semiasse minore.

Una camicia in cui circola il fluido riscaldante copre interamente il corpo cilindrico e l'70% della superficie del fondo inferiore. La camicia è costituita da eliche di elementi profilati a C. L'acqua calda circola nel fasciame lungo le eliche profilate a C, suddivisa in 2 principi in parallelo per complessivi 1 kg/s.

Il recipiente è dotato di agitatore a turbina con 6 palette ( $D_1=ID/3$ ), posizionato ad una quota z di 0.3 m dal fondo del serbatoio, la cui velocità di rotazione massima è di 60 rpm (giri al minuto).

Tutto il recipiente, così come le tubazioni di adduzione, è coibentato e il sistema può quindi considerarsi adiabatico. I dettagli geometrici sono riportati fra i dati

Si assuma valida l'ipotesi di pseudo-stazionarietà ovvero che i tempi caratteristici dei processi di scambio termico nella camicia e nello scambiatore siano molto inferiori rispetto a quelli che avvengono all'interno del brodo colturale.

Il candidato svolga valutazioni e calcoli intesi a determinare:

1. l'altezza bagnata o utile ( $H_u$ ) in condizioni di esercizio;

2. la superficie utile per lo scambio termico nel recipiente ed il coefficiente globale di scambio riferito all'area interna;
3. le efficienze dello scambio termico dello scambiatore a piastre e della camicia;
4. la massa di acciaio coinvolta nel riscaldamento e il suo equivalente in termini di acqua virtuale;
5. l'andamento nel tempo della temperatura del brodo;
6. il tempo necessario al riscaldamento di una carica;
7. le perdite di carico nella tubazione che collega lo scambiatore a piastre al serbatoio

## **Dati**

### Caratteristiche geometriche

#### *Recipiente*

$$H = ID = 1.04 \text{ m}$$

$$s_v = 0.005 \text{ m} \quad \text{spessore}$$

$$a = \frac{ID}{2} - b = \frac{a}{2} \quad \text{ove } a \text{ e } b \text{ sono i semiassi dell'ellisse}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi a^2 b \quad \text{volume di un ellissoide di rotazione attorno al semiasse minore}$$

$$S = 2\pi a^2 + \pi b^2 \frac{1}{\varepsilon} \ln\left(\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}\right) \quad \text{superficie di un ellissoide di rotazione attorno al semiasse minore}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{a} \sqrt{a^2 - b^2} \quad \text{eccentricità}$$

#### *Elementi profilati*

$$W = 0.015 \text{ m} \quad \text{profondità}$$

$$H = 3W \quad \text{altezza}$$

$$s_c = 0.004 \text{ m} \quad \text{spessore}$$

#### *Scambiatore a piastre*

$$S = 3 \text{ m}^2 \quad \text{superficie}$$

massa acciaio 200 kg

### *Elementi ausiliari*

Tubazioni di collegamento:

$ID_{tub} = 0.025 \text{ m}$  (diametro interno) -  $OD_{tub} = 0.029 \text{ m}$  (diametro esterno) -  $L = 25 \text{ m}$  (lunghezza)

Girante della pompa: massa acciaio 15 kg

### Correlazioni di scambio termico

*Coefficiente di scambio lato interno recipiente*

$$Nu_{ID} = \frac{h_i ID}{k} = 0.85 Re^{\frac{2}{3}} Pr^{\frac{1}{3}} \left( \frac{z}{D_T} \right)^{-0.56} \left( \frac{ID}{D_T} \right)^{-0.13}$$

$$\Re = \frac{\rho N D_T^2}{\mu} \quad \text{ove } N \text{ è il numero di rotazioni al secondo}$$

*Coefficiente di scambio lato esterno (elementi a C)*

$$Nu_{D_e} = \frac{h_e D_e}{k} = 0.027 Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}} \left( 1 + 3.5 \frac{D_e}{D_c} \right)$$

$$D_e = 4 \frac{A}{P_{scambio}}$$

$$D_c = ID + 2s_v + (W - s_c)$$

$$r_i = 10^{-4} \frac{m^2 K}{W} \quad \text{fattore di fouling}$$

*Coefficiente di scambio globale dello scambiatore a piastra*

$$U = 2.3 \frac{kW}{m^2 K}$$

### Proprietà fisiche

*Acqua demineralizzata e brodo colturale*

$$\rho_L = 1070 \frac{kg}{m^3} - c_{P,L} = 4.2 \frac{kJ}{kg K} - k_L = 0.55 \frac{W}{m K} - \mu_L = 9.45 \cdot 10^{-4} Pa s$$

*Vapore saturo secco a 1.5 bar*

$$T_s = 111.7^\circ C - \Delta H_{ev} = 2226.5 \frac{kJ}{kg}$$

*Acciaio AISI 316*

$$\rho_A = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - c_{P,A} = 0.477 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} - k_A = 13.4 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

**Table A.6** Thermophysical properties of saturated water<sup>a</sup>

TEMPERATURE, T (K)	PRESSURE, P (bars) <sup>b</sup>	SPECIFIC VOLUME (m <sup>3</sup> /kg)		HEAT OF VAPORIZATION, h <sub>fg</sub> (kJ/kg)	SPECIFIC HEAT (kJ/kg · K)		VISCOSITY (N · s/m <sup>2</sup> )		THERMAL CONDUCTIVITY (W/m · K)		PRANDTL NUMBER		SURFACE TENSION, σ <sub>f</sub> · 10 <sup>3</sup> (N/m)	EXPANSION COEFFICIENT, β <sub>f</sub> · 10 <sup>6</sup> (K <sup>-1</sup> )	TEMPERATURE, T (K)
		v <sub>f</sub> · 10 <sup>3</sup>	v <sub>g</sub>		c <sub>p,f</sub>	c <sub>p,g</sub>	μ <sub>f</sub> · 10 <sup>6</sup>	μ <sub>g</sub> · 10 <sup>6</sup>	k <sub>f</sub> · 10 <sup>3</sup>	k <sub>g</sub> · 10 <sup>3</sup>	Pr <sub>f</sub>	Pr <sub>g</sub>			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	678	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385
390	1.794	1.058	0.980	2212	4.239	2.104	237	12.69	686	26.3	1.47	1.013	55.6	841	390
400	2.455	1.067	0.731	2183	4.256	2.158	217	13.05	688	27.2	1.34	1.033	53.6	896	400
410	3.302	1.077	0.553	2153	4.278	2.221	200	13.42	688	28.2	1.24	1.054	51.5	952	410
420	4.370	1.088	0.425	2123	4.302	2.291	185	13.79	688	29.8	1.16	1.075	49.4	1010	420
430	5.699	1.099	0.331	2091	4.331	2.369	173	14.14	685	30.4	1.09	1.10	47.2	—	430
440	7.333	1.110	0.261	2059	4.36	2.46	162	14.50	682	31.7	1.04	1.12	45.1	—	440
450	9.319	1.123	0.208	2024	4.40	2.56	152	14.85	678	33.1	0.99	1.14	42.9	—	450
460	11.71	1.137	0.167	1989	4.44	2.68	143	15.19	673	34.6	0.95	1.17	40.7	—	460
470	14.55	1.152	0.136	1951	4.48	2.79	136	15.54	667	36.3	0.92	1.20	38.5	—	470
480	17.90	1.167	0.111	1912	4.53	2.94	129	15.88	660	38.1	0.89	1.23	36.2	—	480
490	21.83	1.184	0.0922	1870	4.59	3.10	124	16.23	651	40.1	0.87	1.25	33.9	—	490
500	26.40	1.203	0.0766	1825	4.66	3.27	118	16.59	642	42.3	0.86	1.28	31.6	—	500
510	31.66	1.222	0.0631	1779	4.74	3.47	113	16.95	631	44.7	0.85	1.31	29.3	—	510
520	37.70	1.244	0.0525	1730	4.84	3.70	108	17.33	621	47.5	0.84	1.35	26.9	—	520
530	44.58	1.268	0.0445	1679	4.95	3.96	104	17.72	608	50.6	0.85	1.39	24.5	—	530
540	52.38	1.294	0.0375	1622	5.08	4.27	101	18.1	594	54.0	0.86	1.43	22.1	—	540
550	61.19	1.323	0.0317	1564	5.24	4.64	97	18.6	580	58.3	0.87	1.47	19.7	—	550
560	71.08	1.355	0.0269	1499	5.43	5.09	94	19.1	563	63.7	0.90	1.52	17.3	—	560
570	82.16	1.392	0.0228	1429	5.68	5.67	91	19.7	548	76.7	0.94	1.59	15.0	—	570
580	94.51	1.433	0.0193	1353	6.00	6.40	88	20.4	528	76.7	0.99	1.68	12.8	—	580
590	108.3	1.482	0.0163	1274	6.41	7.35	84	21.5	513	84.1	1.05	1.84	10.5	—	590
600	123.5	1.541	0.0137	1176	7.00	8.75	81	22.7	497	92.9	1.14	2.15	8.4	—	600
610	137.3	1.612	0.0115	1068	7.85	11.1	77	24.1	467	103	1.30	2.60	6.3	—	610
620	159.1	1.705	0.0094	941	9.35	15.4	72	25.9	444	114	1.52	3.46	4.5	—	620
625	169.1	1.778	0.0085	858	10.6	18.3	70	27.0	430	121	1.65	4.20	3.5	—	625
630	179.7	1.856	0.0075	781	12.6	22.1	67	28.0	412	130	2.0	4.8	2.6	—	630
635	190.9	1.935	0.0066	683	16.4	27.6	64	30.0	392	141	2.7	6.0	1.5	—	635
640	202.7	2.075	0.0057	560	26	42	59	32.0	367	155	4.2	9.6	0.8	—	640
645	215.2	2.351	0.0045	361	90	—	54	37.0	331	178	12	26	0.1	—	645
647.3 <sup>c</sup>	221.2	3.170	0.0032	0	∞	∞	45	45.0	238	238	∞	∞	0.0	—	647.3 <sup>c</sup>

<sup>a</sup>Adapted from Reference 19.

<sup>b</sup>1 bar = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>.

<sup>c</sup>Critical temperature.

(F.P. INCROPERA, D.P. DE WITT, *FUNDAMENTALS OF HEAT AND MASS TRANSFER*, 3<sup>RD</sup> ED., JOHN WILEY & SONS, NEW YORK, 1990)

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
 I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
 SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

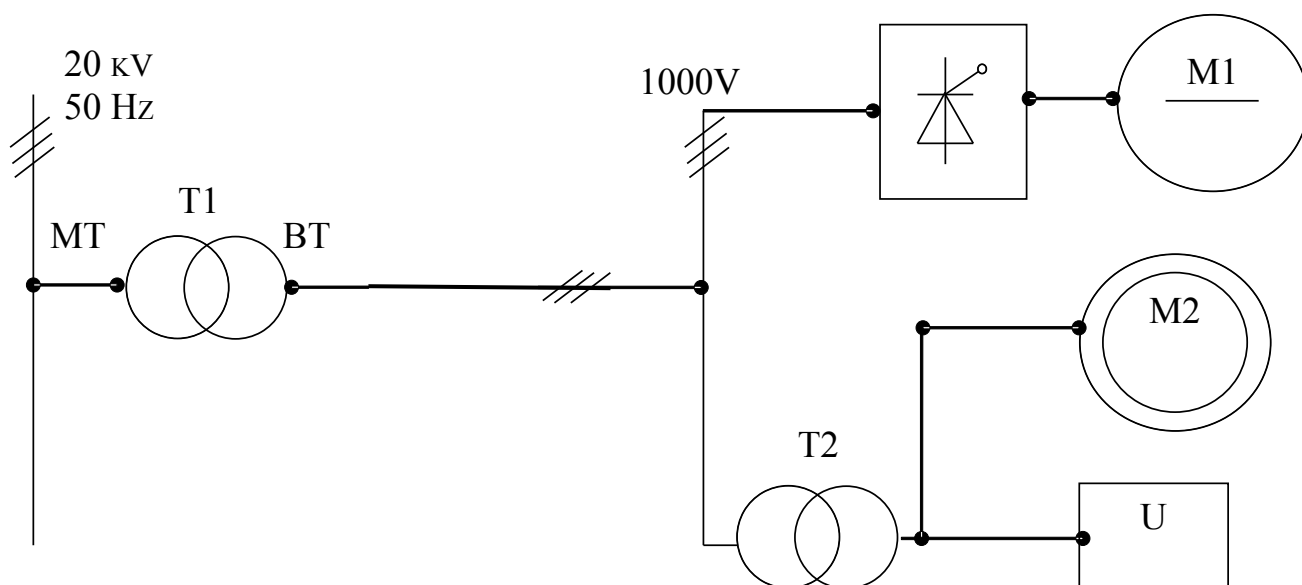
**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 5**

Un complesso industriale è alimentato da un trasformatore T1 20 kV/1 kV. Tale complesso comprende:

- Un motore M1 in corrente continua alimentato da un ponte di Graetz trifase total controllato;
- Un motore asincrono trifase M2;
- Un'utenza U che rappresenta l'insieme di altri carichi.



Nel seguito sono descritte le caratteristiche dell'impianto.

Motore in corrente continua M1

Potenza nominale	[kW]	300
Tensione nominale	[V]	1100

Motore asincrono trifase M2

Potenza nominale	[kW]	130
Tensione nominale	[V]	400
Numero poli		2

Fattore di potenza		0.8
Rendimento nominale		0.86
Collegamento delle fasi statoriche		Y
Resistenza di una fase statorica	[ $\Omega$ ]	0.025
Prova a vuoto		
Collegamento		Y
Tensione	[V]	400
Corrente	[A]	25.6
Potenza assorbita	[kW]	3
Prova a rotore bloccato		
Collegamento		Y
Tensione	[V]	120
Corrente	[A]	340
Potenza assorbita	[kW]	18
Utenza U		
Potenza assorbita	[kW]	200
Fattore di potenza		0.7 rit.

Il candidato dovrà rispondere ai seguenti quesiti:

1. Determinare l'angolo di ritardo all'accensione del ponte total controllato.
2. Determinare i principali parametri del trasformatore T2
3. Dimensionare la batteria di condensatori di rifasamento definendone la potenza e il collegamento da installare sul lato BT per riportare il valore del fattore di potenza a 0.92 RIT ipotizzando che il motore asincrono funzioni in condizioni nominali.
4. Determinare i parametri del motore asincrono M2.
5. Determinare i principali parametri del trasformatore T1

Il candidato risponda inoltre a scelta ad uno dei seguenti quesiti:

1. Dimensionare i componenti del ponte total controllato fornendo le caratteristiche delle valvole e del sistema di raffreddamento.
2. Indicare come si potrebbe controllare la velocità del motore asincrono e presentare uno schema del sistema di alimentazione e controllo.
3. Tracciare lo schema dell'impianto, completo degli organi di misura, di protezione e di interruzione, e indicarne le principali caratteristiche.

Il candidato giustifichi le eventuali ipotesi e approssimazioni assunte nel corso dei calcoli.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
INGEGNERE INDUSTRIALE  
I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 6**

Si deve condizionare, nella stagione estiva, un locale pubblico nel quale si vogliono mantenere le condizioni ambiente di 25 °C e umidità relativa a 50% quando le condizioni dell'aria esterna sono 32 °C e 60% di umidità relativa. Dal locale si deve asportare il carico termico sensibile 22 kW e la quantità di vapor d'acqua (carico latente interno) di 10 kg/h. Adottando una adeguata portata d'aria esterna di rinnovo e assumendo opportunamente la temperatura dell'aria da introdurre nel locale, è richiesto di illustrare con uno schema i componenti principali del sistema di condizionamento e di determinare i flussi termici da scambiare nelle diverse batterie.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 7**

Del succo d'arancia fresco, con 12% di contenuto solido, viene concentrato fino al 60% di contenuto solido usando un evaporatore a multiplo effetto. Per aumentare la qualità del prodotto finale il succo concentrato viene miscelato con succo fresco fino a raggiungere la concentrazione del 42% di contenuto solido.

1) Calcolare la portata di acqua da evaporare nell'evaporatore, la portata di succo fresco che deve essere aggiunta e la portata del prodotto finale nel caso in cui la portata in ingresso all'evaporatore sia pari a 10000 kg/h. (si assumano condizioni stazionarie)

Il liquido in uscita viene poi pompato dal serbatoio di miscelazione (A), dove la pressione assoluta è 12350 Pa, al serbatoio B, P assoluta pari a 101325 Pa, attraverso una tubatura sanitaria con diametro interno pari a 1.5 pollici con rugosità superficiale pari a  $4.6 \cdot 10^{-5}$  m. La pompa si trova 1 m al di sotto del livello del liquido del serbatoio A ed il serbatoio di scarica B si trova 3.3 m al di sopra della pompa. Se la lunghezza del tubo di aspirazione (prima della pompa) è pari a 3 m e quello di scarica (dopo la pompa) 10 m e ci sono:

- 1 gomito a  $90^\circ$  ( $K = 0.5$ ) nel tratto di aspirazione
- 2 gomiti a  $90^\circ$  ( $K = 0.5$ ) nel tratto di scarica
- 1 valvola a globo ( $K = 4$ ) nel tratto di scarica.

Si trovi il valore della potenza richiesta alla pompa, conoscendo l'efficienza pari al 65%, nei seguenti casi:

2) Fluido newtoniano ideale e reale (viscosità 0.003 mPa s e densità 1033 kg/m<sup>3</sup>)

3) Fluido non newtoniano ideale e reale ( $m=0.35 \text{ Pa}\cdot\text{s}^{0.53}$ ,  $n=0.53$ )

4) Si commentino i risultati ottenuti e si giudichi quale delle due approssimazioni è la più veritiera.

Il liquido viene poi alimentato all'interno di un CSTR dove viene trasformato in un generico prodotto B con reazione ( $A \rightarrow B$ ).

5) Calcolare la temperatura di esercizio nel caso di reattore adiabatico.

6) Calcolare inoltre la temperatura di esercizio nel caso in cui il reattore sia circondato da una camicia raffreddante a 280 K. L'area di scambio termico è pari a 0.2 m<sup>2</sup> e il coefficiente medio di scambio termico  $U = 500 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .

Gli altri dati sono: concentrazione di ingresso  $CA_0 = 10 \text{ mol/L}$ , conversione di A = 80%, temperatura alimentazione = 300 K, calore di reazione  $\Delta H_R = -100 \text{ kJ}/(\text{mol A})$ ,  $C_p$  medio = 4.2 kJ/(L K).

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 8**

***UN NUOVO PROGETTO DI INVESTIMENTO: AGRO-KORN***

---

L'ing. Alfei era stato chiamato da poco a far parte del 'comitato investimenti' di una piccola banca d'affari, la Banca Bonanni. In perfetto orario si presentò alla sede della banca, a Milano.

Marco Bonanni, anziano e carismatico fondatore della Banca, alle spalle anni di esperienza come manager di uno dei maggiori gruppi industriali italiani, aveva voluto inserire Alessandro Alfei nel comitato come giovane e brillante ingegnere gestionale, nella convinzione che avrebbe potuto apportare sia nuove competenze (complementari a quelle distintive della Banca, molto focalizzate sul ramo legale-consulenziale), sia un network di contatti e conoscenze nel mondo dell'ingegneria. La Banca Bonanni si era specializzata nel finanziamento di investimenti diretti all'estero, supportando industrie e imprenditori esteri nel coinvolgimento di partners industriali e finanziari italiani. La Banca aveva ottenuto un enorme successo in Cina, portando decine di imprese italiane a investire in impianti produttivi nel distretto di Min-Xiang. Ora stava puntando all'Europa dell'Est, un mercato promettente sia per gli elevati tassi di crescita del PIL, sia per l'adesione all'Unione Europea di molti paesi, che avrebbero beneficiato dei fondi strutturali di sviluppo per sostenere l'industria e di norme armonizzate per gli investimenti infra-comunitari nonché di una moneta stabile e agganciata all'Euro.

Bonanni aveva messo gli occhi in particolare sulla Sorenia: un paese giovane ma dinamico. Nel suo ultimo viaggio era rimasto colpito dalla concretezza degli imprenditori locali e dalle aspettative legate all'adesione all'Unione Europea. Il sostenuto tasso di incremento annuale del PIL era un indicatore chiaro di come la piccola economia della Sorenia avesse interessanti opportunità di crescita. La valuta ufficiale locale è la Corona (SKK), con un tasso di cambio attuale pari a: 1 euro = 335 SKK.

Proprio in occasione di quel viaggio Bonanni aveva conosciuto un simpatico imprenditore, Mâvriz Kônzat, proprietario della Agro-Korn, una società produttrice di farina di mais. Kônzat aveva piani ambiziosi per la sua impresa e pensava che Banca Bonanni potesse essere un valido interlocutore, oltre che un potenziale finanziatore. Bonanni e lo staff della Banca erano solleticati dai progetti di Agro-Korn, in quanto intravedevano nel business del mais una serie di opzioni strategiche di investimento numerose e trasversali. Il mais infatti, oltre che come alimento (sotto forma di farina, fiocchi di mais o olio) e mangime, si poteva utilizzare per produrre etanolo, per i motori a biodiesel. Dagli scarti inoltre si poteva ottenere biomassa per realizzare biogas e quindi elettricità 'verde'. Banca Bonanni attraverso la sua controllata Bonanni Sviluppo, società di ingegneria che aveva realizzato decine di investimenti nella generazione di energia (cogenerazione, parchi eolici e solari, piccole centrali idroelettriche), deteneva competenze consolidate nel campo dell'energia, e

quindi le opportunità di creare valore sembravano interessanti, vista anche l'attenzione crescente del mercato verso l'energia rinnovabile, e considerate le agevolazioni concesse dai governi nazionali. Kônzat promise agli italiani che avrebbe presentato al più presto un 'business plan' in cui avrebbe chiarito la proposta di investimento e le richieste finanziarie.

Il documento era puntualmente arrivato, e proprio in quel giorno doveva essere vagliato dal comitato investimenti, che avrebbe dovuto dare un'indicazione al consiglio di amministrazione della Banca, al quale spettava la decisione di accettare o rifiutare la proposta di investimento.

Nel comitato sedevano l'amministratore delegato della Banca, il dr. Mario Mangiarotti quale esperto e consulente legale, l'ing. Andrea Villa quale esperto tecnologico, e appunto Alfei. Assisteva alla riunione anche Arianna Cannizzaro, segretaria del board.

Arianna aveva spedito in posta elettronica a tutti i presenti il documento qualche giorno prima, e quindi ciascuno aveva potuto leggerlo per tempo e farsi un'idea.



Agro-Korn

## Il Business Plan

Il Business Plan firmato da Kônzat era scritto in inglese e riportava le informazioni di seguito dettagliate e sintetizzate:

### - L'impresa Agro-Korn

Agro-Korn è una piccola società di capitale a responsabilità limitata, fondata 10 anni fa e localizzata a Komárno nel distretto agricolo più importante della Sorenia.

L'impresa fornisce al mercato derivati del mais, che vengono utilizzati nell'industria alimentare (birre, fiocchi di mais, cereali, zuppe e minestre, come si vede dalla figura).

L'impresa ha una quota di mercato del 12% in Sorenia sulle farine ed esporta anche in diversi paesi dell'Europa Orientale. Il capitale sociale è pari a 800 milioni SKK.

### - Gli asset dell'impresa

Agro-Korn è proprietaria diretta di latifondi che vengono coltivati intensivamente a mais, ma ben il 70% del mais utilizzato è acquistato da cooperative esterne di contadini.

Gli stabilimenti dell'impresa sono tre. In questi impianti viene conferito il mais, che viene macinato in mulini. Nel 2024 gli impianti hanno processato 21.000 tonnellate di mais, ed hanno una capacità di stoccaggio nei silos per 7.000 tonnellate. Le capacità produttiva e di stoccaggio sono ormai alla saturazione.

### - Bilanci 2023 e 2024 riclassificati secondo la IV Direttiva UE (tutti i valori in milioni SKK)

#### Stato Patrimoniale

Attivo	31/12/2023	31/12/2024	Passivo	31/12/2023	31/12/2024
Immob. immateriali	880	810	Capitale sociale	800	800
Immob. materiali	1100	1030	Riserve totali	400	460
Immob. finanziarie	200	195	Utile netto dell'esercizio	100	129
Crediti commerciali B/T	120	180	Fondo TFR	200	205
Rimanenze materie prime	100	120	Debiti finanziari B/T	373	115
Rimanenze prodotti finiti	210	150	Debiti finanziari L/T	1000	900
Liquidità in cassa	500	410	Debiti commerciali B/T	200	234
Risconto attivo	3	-	Fondo imposte	40	52
<b>Totale attivo</b>	<b>3113</b>	<b>2895</b>	<b>Totale passivo</b>	<b>3113</b>	<b>2895</b>

#### Conto Economico

	2023	2024
Fatturato	2060	2120

Variazione delle scorte prodotti finiti	(30)	(60)
Valore della produzione	2030	2060
Costi per servizi esterni	(150)	(160)
Costi per consumo materie prime	(1010)	(1030)
Costi del lavoro (stipendi)	(420)	(422)
Ammortamenti e accantonamenti TFR	(250)	(220)
Diff. fra valore e costi totali della produzione	200	228
Oneri finanziari	(70)	(62)
Proventi finanziari	20	15
Minusvalenze	(10)	-
Utile lordo d'esercizio	140	181
Imposte sul reddito	(40)	(52)
Utile netto d'esercizio	100	129

### Il progetto di investimento

Agro-Korn intende perseguire una strategia di crescita nel medio periodo, seguendo due linee:

- integrazione a valle, lungo la filiera del mais ad uso alimentare (finora coperta essenzialmente rispetto alla produzione di farine) entrando nei business dell'olio di germe e dei corn flakes;
- diversificazione in settori finora non coperti dall'impresa, come il mercato dei mangimi per allevamento ma soprattutto del bio-diesel e nelle biomasse; il mais infatti può essere fermentato per ottenere etanolo, impiegato come combustibile nei motori diesel con vantaggi sull'inquinamento, così come dalla sansa e dai residui si ottiene il bio-gas, un combustibile ecologico per le turbine a vapore che producono energia elettrica.

L'analisi strategica fatta dall'impresa (SWOT analysis) ha messo in evidenza alcuni punti di forza e di debolezza, e quindi di conseguenza alcune potenziali minacce ma anche diverse opportunità:

#### SWOT Analysis

<i>Strength</i>	<i>Opportunities</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>●Raw material integration</li> <li>●Knowledge on the area</li> <li>●Good connections with the local authorities</li> <li>●Audit, quality control</li> <li>●Project management knowledge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Full raw material supply security</li> <li>●Assistance in by-products sale</li> <li>●Risk reduction</li> <li>●Locality</li> </ul>
<i>Weaknesses</i>	<i>Threats</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>●Missing technology know-how</li> <li>●Ethanol market knowledge</li> <li>●Inexperience in biogas production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Spreading of technology</li> <li>●Too much ethanol</li> <li>●Unfavourable changes in international trends</li> </ul>

Agro-Korn ha anche intenzione di raddoppiare la capacità di stoccaggio nel mais, con la costruzione di 2 nuovi silos. Il costo stimato per la costruzione di un silos è pari a 250 milioni SKK.

Il primo silos verrà costruito in uno stabilimento già esistente, mentre l'altro verrà costruito in un nuovo stabilimento che Agro-Korn intende aprire in un nuovo sito, per facilitare il conferimento del mais ai piccoli agricoltori, il che permetterà di raggiungere nuovi fornitori.

Ovviamente l'esercizio dei 2 silos aumenterà le scorte di materie prime (mais): si stima che mediamente i 2 silos conterranno in totale 9.000 tonnellate. L'aumento della produzione comporterà

anche un aumento della giacenza media delle scorte di prodotto finito (si stima un incremento rispetto alla situazione attuale pari al 10% del maggior valore della produzione).

Il terreno dove costruire lo stabilimento è già di proprietà dell'impresa; oltre ai silos dovranno essere costruiti impianti (in particolare un mulino e un estrusore) e facilities a servizio dei silos per un importo pari a 1,32 miliardi SKK. I nuovi impianti hanno una potenza di targa pari a 3,5 MW ma vengono utilizzati a pieno ritmo solo dalle 7 alle 20 dei 250 giorni lavorativi annuali (mentre negli altri orari e durante i giorni festivi la potenza richiesta si riduce al 10% di quella ordinaria). Data la scarsa diversificazione attuale delle attività dell'impresa, focalizzata quasi esclusivamente sulle farine, l'attività degli altri stabilimenti nelle ore notturne e nei giorni festivi è nulla.

Nel nuovo stabilimento ci sarà anche un'unità produttiva per la distillazione dell'etanolo, e un'unità per la produzione di energia sfruttando il biogas prodotto dalle biomasse inutilizzate del mais (tutoli, sansa, residui, ...). Il costo di realizzazione è stimato pari a 2 miliardi SKK per l'impianto di etanolo (che assorbe una potenza di 1,5 MW 24 ore su 24, tutto l'anno) e 920 milioni SKK per l'impianto a biomasse, che avrà una potenza netta erogabile di 3 MW, 24 ore su 24, tutto l'anno, utilizzabile solo nel nuovo stabilimento.

Il business plan prevede anche un frantoio dedicato alla spremitura dei germi del mais, per produrre olio. Il costo di acquisto è stimato pari a 300 milioni SKK e l'energia assorbita rispetto a quella degli altri impianti è trascurabile.

Tutti i nuovi impianti possono essere ammortizzati in dieci anni. Il loro valore terminale è molto basso, in quanto si tratta di impianti che si usurano rapidamente, e può essere stimato pari al 5% dell'investimento iniziale.

Il costo di esercizio annuale degli impianti previsti dal nuovo investimento per attrezzaggi, revisioni e manutenzione (energia esclusa) è stimato in 90 milioni SKK.

La produttività del nuovo impianto permetterà di lavorare in più rispetto alla situazione attuale 90.000 tonnellate di mais. Poiché non si prevedono estensioni delle coltivazioni di proprietà dell'impresa, il mais sarà acquistato dalle cooperative dei produttori locali, alla tariffa di mercato con uno sconto concordato del 15%. Il business plan stima quindi un costo di acquisto costante tutti gli anni e pari a 35.600 SKK / tonnellata di mais.

Dal 10% si estrarrà il germe per produrre olio. Da ogni germe si ottiene il 20% di olio e l'80% di sansa. Metà della sansa verrà trasformata in mangime, l'altra metà verrà conferita all'impianto di biogas.

Seguendo gli studi di mercato fatti dall'impresa, il 70% del mais viene conferito all'impianto di produzione dell'etanolo. In questo impianto si ottiene 1 metro cubo di etanolo ogni 2,5 tonnellate di mais; il 44,5% di quanto immesso nell'impianto è scartato e può essere recuperato come mangime (4,5%), o conferito all'impianto di biogas (il 40%).

La parte rimanente del mais andrà ai mulini per ricavare farina e fiocchi di mais per uso alimentare; anche in questo caso vi saranno degli scarti (il 25% di quanto immesso nelle macine) che andranno all'impianto di biogas. Il prodotto finito sarà realizzato secondo questo mix: 10% fiocchi di mais, 90% farina. I fiocchi si ottengono dalla farina, ma c'è un passaggio di lavorazione in più attraverso degli estrusori.

Ecco il listino dei prezzi prevedibili dei prodotti finiti realizzati dalla Agro-Korn:

- olio di germe di mais: 19.500 SKK/quintale
- etanolo: 550 euro / metro cubo (venduto sul circuito borsistico internazionale)
- mangime per animali: 28.700 SKK/tonnellata
- farina di mais: 51.300 SKK/tonnellata
- corn-flakes (fiocchi): 92.000 SKK/tonnellata

I prezzi di farina e corn-flakes dovrebbero rimanere costanti nel tempo, mentre il business plan prevede un aumento annuo del 2% del prezzo dell'etanolo, a causa della 'corsa' all'energia pulita e della speculazione sui mercati internazionali.

Per sostenere le vendite e mantenere la qualità dei prodotti, Agro-Korn prevede di sostenere ogni anno spese di marketing e di controllo qualità per 90 milioni SKK che però saranno raddoppiate nel primo e secondo anno, con il lancio di nuovi marchi dietetici per il mercato della Sorenia.

L'impianto per la produzione di mangime raccoglie gli scarti dal frantoio dei germi e dall'impianto di etanolo.

L'impianto per la produzione di biogas dalle biomasse raccoglie gli scarti residui e produce bio-gas. L'idea è quella di utilizzare il bio-gas in turbine a cogenerazione che producono elettricità e calore per le utenze degli impianti. In tal modo si potrà risparmiare sul costo dell'energia: non solo, l'energia elettrica eventualmente in eccesso potrà essere venduta alla rete elettrica a tariffe vantaggiose (il governo riconosce un prezzo d'acquisto pari al 90% del costo di vendita in funzione della fascia oraria, di seguito specificato).

Il costo dell'energia in Sorenia per le imprese è molto variabile a seconda delle fasce orarie ma decisamente più basso rispetto a quello italiano. Durante le ore di picco dei giorni lavorativi (dalle 9 alle 17) il costo è di 43 SKK/KWh consumati. Nelle ore di fascia media dei giorni lavorativi (dalle 7 alle 9 e dalle 17 alle 20) è pari alla metà, mentre nelle ore notturne e nei giorni festivi si riduce a 4 SKK/KWh. Le tariffe sono fisse per i prossimi 10 anni. La differenza di fuso orario in Sorenia rispetto all'Italia è di +1 ora.

Attualmente Agro-Korn impiega a tempo pieno 28 persone, ma con l'ambizioso piano di sviluppo si arriverà a 72 unità. Mediamente lo stipendio annuale di un addetto è pari a 4,15 milioni SKK cui si deve sommare un ulteriore 20% per contributi e oneri previdenziali. In base agli accordi sindacali, ogni anno il costo del lavoro aumenterà dell'1%.

Gli aumenti nei costi generali e amministrativi per servizi esterni dell'impresa non sono rilevanti, dal momento che la società è già costituita, ma fra assicurazioni, materiali di consumo, licenze, acquisizione di know-how, si stima un onere di 22 milioni SKK all'anno.

Il governo della Sorenia ha già assicurato che interverrà a sostegno del progetto finanziando a fondo perduto ben il 40% degli investimenti iniziali in immobilizzazioni fisse (il contributo è esentasse).

In Sorenia l'aliquota fiscale sul reddito d'impresa è pari al 28%.

### **La proposta di finanziamento**

Il business plan si chiudeva con il dettaglio delle richieste finanziarie fatte a Banca Bonanni e ad eventuali altre partners industriali italiani, che la Banca avrebbe potuto coinvolgere.

La liquidità necessaria per sostenere gli investimenti iniziali in impianti e le uscite di casse previste nei primi mesi (ad esempio per le spese di marketing, per gli stipendi, per le materie prime) sarebbe arrivata in parte dai contributi statali a fondo perduto, in parte da autofinanziamento dei soci esistenti, e appunto per una parte rilevante dagli investitori italiani, per un importo di 6,2 miliardi SKK.

Il finanziamento sarebbe stato veicolato per metà attraverso un prestito (debito), remunerato ogni anno ad un tasso del 12% e rimborsato fra 10 anni, e per metà con un aumento di capitale a pagamento, in cui Banca Bonanni avrebbe ottenuto il 30% del capitale dell'impresa Agro-Korn.

### **La discussione nel Comitato Investimenti**

Che fare?

Bonanni non nascondeva la propria simpatia per il progetto, ma non era certamente disposto a finanziarlo se non vedeva tassi di redditività attesi di una certa rilevanza.

Lo staff aveva valutato con attenzione il progetto e aveva sollevato alcuni problemi:

- l'impresa Agro-Korn non appare particolarmente solida osservando i fondamentali di bilancio, ed in particolare ha un precario equilibrio di cassa nel breve termine; c'è quindi il rischio che il denaro vada a coprire la crisi di liquidità dell'impresa, piuttosto che l'investimento proposto; inoltre occorre raggiungere un accordo con Agro-Korn per

garantire la distribuzione costante dei dividendi e il way-out dal progetto fra 10 anni (la Banca non intende rimanere azionista dell'impresa oltre questo limite);

- è impensabile che il prezzo sul mercato del mais rimanga costante per i prossimi anni (circolava un grafico che mostrava chiaramente come il prezzo fosse variato sensibilmente nell'arco degli ultimi 15 anni, con un trend di crescita che sarebbe sfavorevole per Agro-Korn, e con fluttuazioni che portavano il prezzo a volte a triplicare, a volte a dimezzarsi, a seconda dei cicli economici e delle stagioni di siccità); era dunque assolutamente necessario che l'impresa 'bloccasse' il prezzo di acquisto del mais, ad esempio attraverso contratti derivati a termine o facendo contratti di lungo termine con i produttori (in entrambi i casi si stima un maggiore costo annuale del 5% sul valore di acquisto del mais rispetto a quanto previsto dagli interlocutori di Agro-Korn);
- da un calcolo del cash flow atteso, il progetto non appariva particolarmente redditizio dal punto di vista della vendita di olio, farina e focchi di mais, ma era invece interessante dal punto di vista energetico, per la produzione di etanolo e di biogas. I sussidi pubblici del governo della Sorenia erano il vero elemento differenziale che rendeva il progetto potenzialmente profittevole.

Anche Alfei aveva studiato il progetto, e aveva sollevato altri punti critici:

- ricordandosi di quanto imparato al Politecnico, Alfei aveva fatto due conti rapidi e la conclusione era lapidaria quanto ineccepibile: la proposta sul tavolo era quella di acquistare il 30% del capitale azionario di Agro-Korn ad un valore pari al 50% di 6,2 miliardi SKK, il che equivale a valutare l'impresa oltre 10 miliardi SKK ovvero quasi 100 volte il suo utile dell'ultimo anno!!!;
- il mercato dell'etanolo si sta rapidamente saturando (anche Alfei tirò fuori degli articoli, che stavolta riportavano previsioni di un eccesso di produzione dell'etanolo, e quindi di un possibile crollo del valore di mercato del combustibile) – appariva necessario cautelarsi da questo rischio anche in questo caso con contratti derivati a termine, che a costo zero avrebbero fissato il prezzo di vendita dell'etanolo a 500 euro / metro cubo.

Un ulteriore punto interessante era emerso nel dibattito:

- il progetto di investimento proposto è un punto di discontinuità importante per Agro-Korn soprattutto in termini dimensionali e non si capisce se gli obiettivi previsti sono alla portata, in termini di competenze, politica di marketing, commercializzazione, struttura organizzativa (in verità il business plan era molto ambiguo su questi punti); allo stesso modo non è chiaro se le autorizzazioni necessarie per i nuovi stabilimenti e le nuove attività sono state richieste e/o ottenute.

Valutando il rischio legato al tasso di cambio e alla tipologia del business, tutti avevano convenuto nel considerare un costo del capitale annuo legato al progetto pari al 18% (inteso come costo medio ponderato del capitale impiegato nel progetto e tenendo conto dei benefici fiscali del debito). Ma questo era l'unico punto di accordo.

Bonanni lodò il giovane ingegnere gestionale neo-arrivato ma aveva le idee confuse. La riunione venne quindi aggiornata alla settimana successiva, con l'obiettivo di approfondire i punti sollevati nel corso del dibattito. Nel frattempo sarebbero state richieste maggiori informazioni sulle questioni sollevate da tutti.

Arianna rilesse velocemente i suoi appunti: le questioni aperte erano le seguenti:

- 1) verificare la situazione reddituale, la solidità patrimoniale ed eventuali problemi di liquidità di Agro-Korn, attraverso opportuni indici di Bilancio;
- 2) verificare il calcolo dei flussi di cassa annuali e del valore attuale netto (net present value) del progetto proposto da Agro-Korn, nella logica del capitale investito (asset-side) e considerando le azioni proposte dal comitato investimenti per eliminare il rischio sul prezzo delle materie prime e dell'etanolo; occorre verificare anche il tasso interno di rendimento del progetto (internal rate of return) e il tempo di ripagamento (payback time);

- 3) verificare la congruità fra valore del progetto, finanziamento e quota del capitale azionario offerta a Banca Bonanni; in altre parole occorre identificare i flussi di reddito atteso di competenza degli investitori italiani (relativi sia al debito sia all'equity) e confrontarli con il loro investimento iniziale; se le condizioni proposte da Agro-Korn risultano penalizzanti, occorre indicare una proposta alternativa sulla quota del capitale azionario da chiedere.

**Obiettivo**

Si tratta di dare una risposta alle tre questioni aperte elencate nelle righe precedenti. Qualora si ritenga che le informazioni fornite siano insufficienti, occorre introdurre le opportune ipotesi operative.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 9**

Si consideri la formatura superplastica di un tubo a sezione circolare, in lega di alluminio. Il tubo ha diametro esterno iniziale di 2 cm e spessore iniziale di 2 mm; la deformazione avviene a 500 °C, immettendo un gas in pressione all'interno del tubo per aumentarne il diametro.

Si assuma la seguente relazione tra lo sforzo ( $\sigma$ ) e la velocità di deformazione reale ( $\dot{\epsilon}$ ) nella parete del tubo:

$$\sigma = K(\dot{\epsilon})^{0.8} d$$

dove  $K$  è pari a  $2 \cdot 10^8$  MPa s<sup>0.8</sup> m<sup>-1</sup> e  $d$  è la dimensione media del grano nel materiale.

Per calcolare lo sforzo tangenziale, si applichi l'approssimazione di tubo a parete sottile. Con questa approssimazione, si valuti la deformazione radiale assumendo che durante l'espansione del tubo il volume del materiale si mantenga costante. Si consideri trascurabile la deformazione assiale.

- 1) Si determini l'andamento nel tempo della pressione interna che permetta di mantenere costante la velocità di deformazione reale, pari a  $10^{-3}$  s<sup>-1</sup>. La pressione esterna è sempre uguale a 1 bar. Si valuti il tempo necessario per raddoppiare il diametro del tubo e si calcoli il valore che raggiunge la pressione interna quando è trascorso questo tempo.

Si determini l'andamento nel tempo e il valore finale della pressione in due casi:

- la dimensione media del grano è 5  $\mu\text{m}$  e non varia durante la deformazione,
  - la dimensione media del grano varia nel tempo ( $t$ ) secondo la relazione  $d^2 = d_0^2 + \alpha \cdot t$  dove  $d_0$  è la dimensione iniziale (5  $\mu\text{m}$ ) e  $\alpha$  vale  $9 \cdot 10^{-15}$  m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>.
- 2) Si determini l'andamento nel tempo della velocità di deformazione reale che si ottiene applicando una pressione interna costante, pari a 10 bar. La pressione esterna è sempre uguale a 1 bar. Si valuti il tempo necessario per raddoppiare il diametro del tubo e si calcoli il valore che raggiunge la velocità di deformazione reale quando è trascorso questo tempo. Si assuma che la dimensione media del grano sia uguale a 5  $\mu\text{m}$  e che rimanga costante durante la deformazione.
  - 3) Si spieghi come è possibile rallentare o inibire la crescita del grano durante la deformazione.
  - 4) Si descriva un processo tecnologico idoneo per realizzare il tubo con le dimensioni iniziali e con la microstruttura adatta alla successiva deformazione superplastica.

**ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
INGEGNERE INDUSTRIALE  
I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 10**

Si vuole progettare il caricatore frontale mostrato in figura. Il caricatore deve sollevare una massa di 300 kg ad un'altezza massima di 3.5 m, la pressione nominale del circuito idraulico è di 100 bar.

Si chiede:

- Schematizzare il meccanismo evidenziando i vincoli e i corpi rigidi che compongono il sistema
- dimensionare il cinematismo di collegamento del cilindro idraulico principale
- dimensionare il cilindro idraulico
- dimensionare il braccio di sollevamento

Ipotizzare tutti i dati non noti.



ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
 I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
 SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

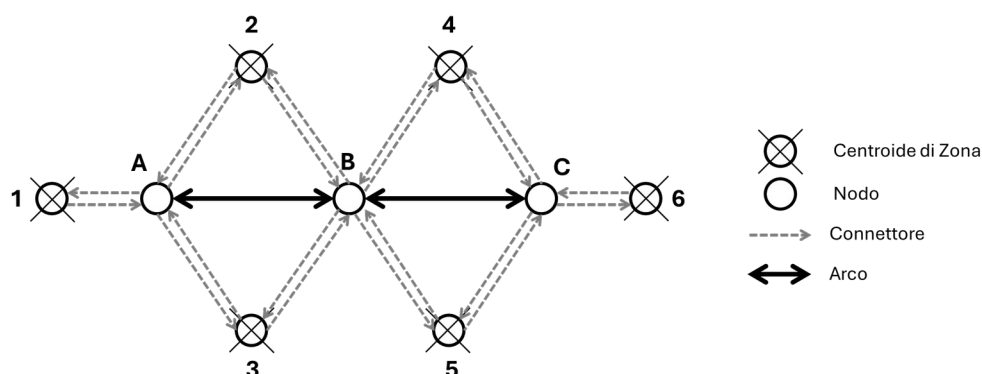
**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 11**

Dati il grafo di rete riportato in Figura e la matrice Origine-Destinazione degli spostamenti “tutti i modi”, relativa all’ora di punta, riportata in Tabella, il candidato progetti un servizio di trasporto pubblico bidirezionale nel corridoio A-C, con fermate nei nodi A, B, e C. Dopo aver stimato la domanda potenziale e conseguentemente individuato la tipologia di sistema di trasporto più idonea, la capacità unitaria dei veicoli e la frequenza oraria per ciascuna direzione, il candidato dimensiona la flotta necessaria all’esercizio del servizio.



Matrice OD [passeggeri/ora]	1	2	3	4	5	6
1	1000	0	2000	0	0	500
2	2000	500	1500	1000	500	1500
3	0	500	1000	1000	0	500
4	500	500	0	500	500	1000
5	0	0	1500	1000	500	2000
6	1000	1000	1000	2000	0	500

**Ulteriori Dati, Relazioni Utili e Assunzioni**

Si considerino due modalità di trasporto: automobile (AUTO) e trasporto pubblico (TP).  
 Con riferimento alla rete, si assumano trascurabili le impedenze nodali (tempi e costi) e quelle associate ai connettori. I tempi di percorrenza  $T$  dei singoli archi siano pari a 15 minuti per l’automobile e 20 minuti per il trasporto pubblico. I costi monetari  $C$  dei singoli archi siano pari a 6 € per l’automobile e 2 € per il trasporto pubblico.

Ai fini della determinazione della matrice Origine–Destinazione relativa al solo trasporto pubblico, si applichi un modello di scelta modale Logit Multinomiale ( $\theta=1$ ), le cui funzioni di utilità sistematica sono definite come segue (con  $T$  e  $C$  rispettivamente espressi in minuti ed euro):

$$V_{AUTO} = -0.02 \cdot T_{AUTO} - 0.04 \cdot C_{AUTO}$$

$$V_{TP} = -0.01 \cdot T_{TP} - 0.04 \cdot C_{TP} - 1.8$$

Per l’assegnazione della domanda modale alla rete, si adotti una logica di minimo percorso.

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:  
**INGEGNERE INDUSTRIALE**  
I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025  
SEDE SVOLGIMENTO: **POLITECNICO DI MILANO**

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

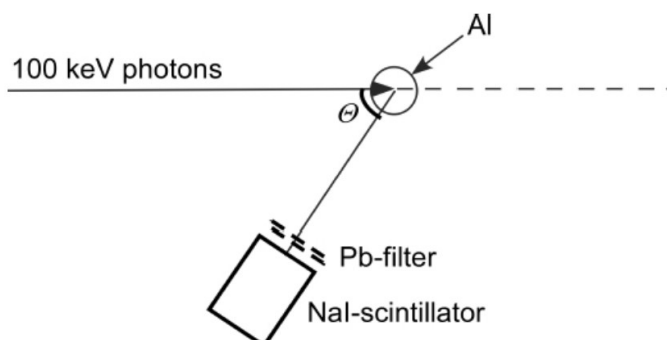
**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 12**

Il candidato risolva i seguenti problemi

- 1) Determinare la massima energia dei raggi delta che possono essere prodotti rispettivamente da un protone, un elettrone ed un positrone con energia di 10 MeV.
- 2) Una camera a ionizzazione sferica con un raggio di 0,30 m ha una sorgente  $^{32}\text{P}$  (Beta  $E_{\text{max}}=1,7$  MeV,  $E_{\text{mean}}=0,695$  MeV) posizionata al centro. Quale pressione dell'aria è necessaria per assorbire completamente le particelle  $\beta$  nel volume d'aria a una temperatura di 293 K? Stimare anche la corrente di ionizzazione se l'attività della sorgente è di 40,0 kBq.  $W_{\text{aria}}=33,97$  eV è l'energia media necessaria per produrre una coppia di ioni in aria. Usare l'equazione empirica riportate in calce, per determinare il range degli elettroni. Si assuma la densità dell'aria pari a  $1,293 \text{ Kg m}^{-3}$  (273,1 K e 1 Atm)
- 3) Viene condotto un esperimento come mostrato in figura. Fotoni da 100 keV colpiscono una piccola asta di alluminio. Uno scintillatore di NaI è posizionato a diverse angolazioni rispetto al fascio di fotoni incidente. Davanti allo scintillatore di NaI è posizionato un sottile filtro di piombo che riduce la fluenza dei fotoni. Quando l'angolo aumenta da zero, la frequenza di conteggio diminuisce. A un certo angolo si verifica, tuttavia, un notevole aumento della frequenza di conteggio. Successivamente, la frequenza di conteggio diminuisce nuovamente con l'aumentare dell'angolo. Calcolare l'angolo in corrispondenza del quale si verifica questo aumento. Calcolare anche lo spessore del filtro di piombo se la fluenza dei fotoni fosse aumentata di un fattore 10.



- 4) La corrente proveniente da una camera a ionizzazione esposta a radiazioni  $\gamma$  è di 2,43pA. L'uscita dell'elettrometro è collegata a un sistema di acquisizione dati. Quale sarà la deviazione standard relativa del dataset, sapendo che l'elettrometro integra la carica su un tempo  $\tau = 0,2$  s e che la lunghezza media del percorso degli elettroni secondari in condizioni di equilibrio di radiazione è di 0,20 m in aria a NTP? Si supponga che la perdita di energia degli elettroni secondari attraverso i processi di collisione sia pari a  $0,20 \text{ MeV m}^2 \text{ kg}^{-1}$ . Si assuma la densità dell'aria pari a  $1,293 \text{ Kg m}^{-3}$  (273,1 K e 1 Atm).

-----  
Informazioni a supporto della risoluzione dei problemi.

Equazione empirica per la stima del range massico di particelle beta.  $T_\beta$  rappresenta l'energia massima espressa in MeV.

$$R_2 = 5.30T_\beta - 1.06 \text{ kg m}^{-2}$$

Si ricorda la formula per lo scattering Compton

$$h\nu_s = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

Con  $h\nu$  e  $h\nu_s$  le energie del fotone incidente e scatterato,  $\theta$  è l'angolo di scattering tra i due fotoni e  $m_0 c^2 = 511 \text{ keV}$  è la massa a riposo dell'elettrone

## Piombo

Z = 82

Densità 11,34 (g/cm<sup>3</sup>)

Values of the mass attenuation coefficient ( $\mu/\rho$ ), and the mass energy-absorption coefficient, ( $\mu_{en}/\rho$ )

	Energy (MeV)	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	$\mu_{en}/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)
	1.00000E-03	5.210E+03	5.197E+03
	1.50000E-03	2.356E+03	2.344E+03
	2.00000E-03	1.285E+03	1.274E+03
	2.48400E-03	8.006E+02	7.895E+02
M5	2.48400E-03	1.397E+03	1.366E+03
	2.53429E-03	1.726E+03	1.682E+03
	2.58560E-03	1.944E+03	1.895E+03
M4	2.58560E-03	2.458E+03	2.390E+03
	3.00000E-03	1.965E+03	1.913E+03
	3.06640E-03	1.857E+03	1.808E+03
M3	3.06640E-03	2.146E+03	2.090E+03
	3.30130E-03	1.796E+03	1.748E+03
	3.55420E-03	1.496E+03	1.459E+03
M2	3.55420E-03	1.585E+03	1.546E+03
	3.69948E-03	1.442E+03	1.405E+03
	3.85070E-03	1.311E+03	1.279E+03
M1	3.85070E-03	1.368E+03	1.335E+03
	4.00000E-03	1.251E+03	1.221E+03
	5.00000E-03	7.304E+02	7.124E+02
	6.00000E-03	4.672E+02	4.546E+02
	8.00000E-03	2.287E+02	2.207E+02
	1.00000E-02	1.306E+02	1.247E+02
	1.30352E-02	6.701E+01	6.270E+01
L3	1.30352E-02	1.621E+02	1.291E+02
	1.50000E-02	1.116E+02	9.100E+01
	1.52000E-02	1.078E+02	8.807E+01
L2	1.52000E-02	1.485E+02	1.131E+02
	1.55269E-02	1.416E+02	1.083E+02
	1.58608E-02	1.344E+02	1.032E+02
L1	1.58608E-02	1.548E+02	1.180E+02
	2.00000E-02	8.636E+01	6.899E+01
	3.00000E-02	3.032E+01	2.536E+01
	4.00000E-02	1.436E+01	1.211E+01
	5.00000E-02	8.041E+00	6.740E+00
	6.00000E-02	5.021E+00	4.149E+00
	8.00000E-02	2.419E+00	1.916E+00
	8.80045E-02	1.910E+00	1.482E+00
K	8.80045E-02	7.683E+00	2.160E+00
	1.00000E-01	5.549E+00	1.976E+00
	1.50000E-01	2.014E+00	1.056E+00
	2.00000E-01	9.985E-01	5.870E-01
	3.00000E-01	4.031E-01	2.455E-01
	4.00000E-01	2.323E-01	1.370E-01
	5.00000E-01	1.614E-01	9.128E-02
	6.00000E-01	1.248E-01	6.819E-02
	8.00000E-01	8.870E-02	4.644E-02
	1.00000E+00	7.102E-02	3.654E-02

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI:

INGEGNERE INDUSTRIALE

I SESSIONE 2025 - 20 SETTEMBRE 2025

SEDE SVOLGIMENTO: POLITECNICO DI MILANO

**III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE**

**SEZIONE A**

**PROVA PRATICA**

**TEMA N. 13**

Si consideri un impianto chimico in cui è presente una tubazione ( $D_{tubo}=20\text{ cm}$ ) contenente monossido di carbonio.

Si indentificano quattro differenti scenari possibili:

A) Rottura di un elemento di linea.

Assumendo che la tubazione sia a  $P_0=30\text{ bar}$ ,  $T_0=30\text{ °C}$ , determinare:

- la portata massica scaricata da un foro di diametro  $D_A=5\text{ cm}$
- $HP_{A1}$ : Si consideri  $C_D=0.8$  e le formule per i rilasci da serbatoio

B) Considerando che la portata calcolata al punto A sia rilasciata a 1 metro di altezza.

- Ipotizzando che il rilascio sia ignito istantaneamente, calcolare la distanza massima raggiunta da un livello di irraggiamento pari a  $I=4.5\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$  (valore di soglia per gli operatori)

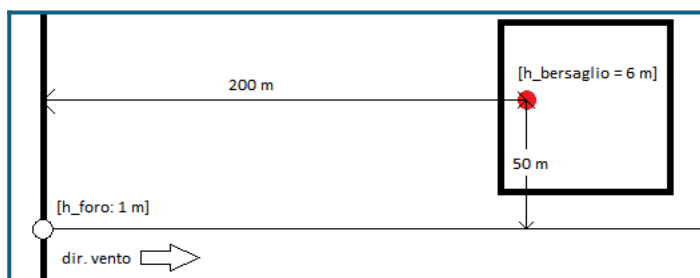
$HP_{B1}$ : Si consideri il rilascio verticale e in assenza di vento

- Considerando che il CO è una sostanza tossica, determinare la concentrazione a cui è esposto un lavoratore che si trova su un tetto a 6 m di altezza, 200 metri sottovento al punto del rilascio e scostato di 50 metri perpendicolarmente alla direzione del vento.

$HP_{B2}$ : Si consideri una giornata molto nuvolosa, velocità del vento @ 1 metro pari a 1 m/s

$HP_{B3}$ : Si consideri il rilascio orizzontale

$HP_{B4}$ : Si trascurino gli effetti di galleggiamento



- C) Considerando che la perdita non sia arrestata prima di 5 minuti all'interno di un'area congestionata, stimare la sovrappressione che si genererebbe in caso di esplosione al bersaglio del punto B (calcolare la distanza in 3D!)
- Usando il metodo del TNT equivalente
  - Usando il metodo Wiekema

## DATI

---

### Ambiente

$$T_{amb} = 25^{\circ}C; \tau_{air} = 0.7;$$

### Monossido di carbonio

$$PM_{CO} = 28 \frac{kg}{kmol}; \gamma_{CO} = 1.4; \Delta H_{comb,CO} = 10107 \frac{kJ}{kg}; \eta_{irr} = 0.2; \frac{T_{ad}}{T_j} = 8.2$$