

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

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE B

PROVA PRATICA

TEMA N. 1

Il Candidato esegua il dimensionamento preliminare dell'ammortizzatore del carrello principale di atterraggio di un velivolo con peso massimo all'atterraggio di 3500Kg che deve poter atterrare con una componente verticale di velocità pari a 2.5 m/s e un fattore di contingenza pari a 3.

Il componente deve essere in grado di assorbire tutta l'energia dovuta alla componente verticale della velocità.

Il Candidato utilizzi, per l'esposizione, il modello della relazione tecnica e assuma, con dovuta motivazione, eventuali valori ed ipotesi necessarie alla risoluzione del quesito.

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

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE B

PROVA PRATICA

TEMA N. 2

Si progetti un sistema di controllo della velocità (ad anello chiuso) di un motore DC.

Parametri del motore

Inerzia $J = 0.01 \text{ kg m}^2$

Smorzamento $B = 0.1 \text{ Nm/s}$

Costante di coppia e di fem. = 0.01

Resistenza di armatura = 1Ω

Induttanza di armatura = 500 mH

Il controllore P_i di velocità deve soddisfare i seguenti parametri:

Tempo di assestamento $< 2 \text{ s}$

Sovra elongazione massima $< 5\%$

Si scelgano opportunamente i parametri per il controllore di corrente.

Il candidato:

1. Definisca il modello del sistema adatto alla progettazione del sistema di controllo indicato
2. Identifichi i parametri dei regolatori per garantire le prestazioni indicate
3. Presenti le problematiche di digitalizzazione del sistema di controllo proposto
4. Al fine di non superare i limiti del sistema sono possibili implantazioni anti wind-up dei regolatori. Il candidato discuta una possibile implementazione nel caso in esame

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

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE B

PROVA PRATICA

TEMA N. 3

I MATERIALI METALLICI E I MATERIALI CERAMICI SONO AMPIAMENTE UTILIZZATI IN CAMPO BIOMEDICO. IN CAMPO ORTOPEDICO, VENGONO PRINCIPALMENTE IMPIEGATI ACCIAI INOSSIDABILI, TITANIO E SUE LEGHE, LEGHE DI COBALTO, ALLUMINA E ZIRCONIA.

IL CANDIDATO ILLUSTRÌ QUALI SONO I PRINCIPALI IMPIEGHI DI CIASCUNO DI QUESTI MATERIALI.

NELLA TABELLA 1 VENGONO ESPOSTE ALCUNE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI PRINCIPALI MATERIALI METALLICI.

TABELLA 1 – PRINCIPALI CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI METALLICI IMPIEGATI IN CAMPO BIOMEDICO

	E (GPa)	Rs (MPa)	Rm (MPa)	ϵ_r (%)
AISI 316L	200	220	517	50
Ti C.P. GRADO 2	110	230	345	20
Ti6Al4V	110	780	860	10
CoCrMo	230	450	655	8
ALLUMINA	375	-	- ¹	-
ZIRCONIA ²	200	-	- ³	-
UHMWPE ⁴		21	35	300

¹ RESISTENZA MECCANICA A FLESSIONE = 345 MPa; RESISTENZA A COMPRESSIONE = 2585 MPa

² STABILIZZATA CON 9% MgO

³ RESISTENZA MECCANICA A FLESSIONE = 690 MPa; RESISTENZA A COMPRESSIONE = 1860 MPa
(DA W SMITH, SCIENZA E TECNOLOGIA DEI MATERIALI, MCGRAW-HILL ED.)

⁴ DA SM KURTZ, THE REQUIRED MECHANICAL PROPERTIES OF HIP AND KNEE COMPONENTS

DOVENDO PROGETTARE UNO STELO DI PROTESI FEMORALE ED UNA TESTA FEMORALE, IL CANDIDATO ILLUSTRÌ QUALI SONO I PRINCIPALI REQUISITI DI PROGETTO RICHIESTI E QUALI SONO LE PROPRIETÀ CHE TALE DISPOSITIVO DEVE POSSEDERE.

SI SELEZIONI IL MATERIALE CON IL QUALE SI INTENDONO REALIZZARE LE PROTESI IN ESAME GIUSTIFICANDO LA SCELTA.

SI DISEGNI, IN MODO APPROSSIMATIVO, LA CURVA SFORZO/DEFORMAZIONE PER IL MATERIALE METALLICO SELEZIONATO, INDICANDO QUALI SONO I PARAMETRI MECCANICI DI INTERESSE PER LA REALIZZAZIONE DEI DUE COMPONENTI DELLA PROTESI E L'INTERVALLO SFORZO/DEFORMAZIONE IN CUI I COMPONENTI DOVREBBERO LAVORARE.

IL CANDIDATO ESEGUA UNA VERIFICA DI RESISTENZA STATICA PER LA PROTESI O PER UNO DEI SUOI COMPONENTI.

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

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE B

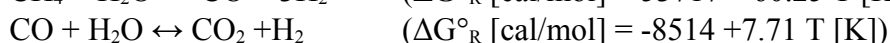
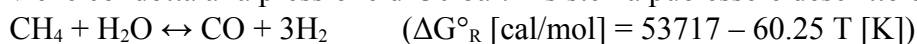
PROVA PRATICA

TEMA N. 4

Si consideri il processo di produzione di gas di sintesi (CO/H₂) mediante reforming con vapore.



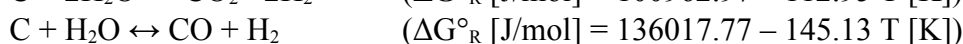
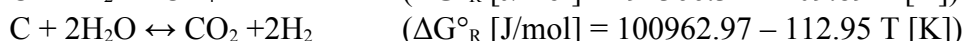
Si assuma che all'uscita vengano raggiunte le condizioni di equilibrio termodinamico e la reazione viene condotta alla pressione di 30 bar. Il sistema può essere descritto dalle seguenti reazioni:



Il candidato, motivando opportunamente tutte le ipotesi fatte e reperendo ove necessario i dati mancanti sui manuali, valuti:

- La temperatura di uscita in grado di garantire una conversione di metano del 85% e una selettività a CO del 70%
- Il rapporto molare tra vapore d'acqua e metano in ingresso al reattore
- La portata di metano richiesta per garantire una produttività di 10000 Nm³/h di idrogeno
- La potenza termica da fornire al reformer

Inoltre, è richiesto al candidato di verificare l'eventuale formazione di nero fumo (assunto come carbonio atomico). A tale fine si tenga presente che gli equilibri che interessano LA FORMAZIONE DI CARBONIO SONO:



Si considerino che le specie coinvolte HANNO LE SEGUENTI ENTALPIE STANDARD DI FORMAZIONE E I SEGUENTI CALORI SPECIFICI.

	$\Delta H^\circ_f (298 \text{ K})$ [J/mol]	C_p [J/mol/K]
CH₄	-74900.00	57.72
H₂O	-242000	37.52
CO	-110600	31.18
CO₂	-393800	49.64
H₂	0	29.49

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

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

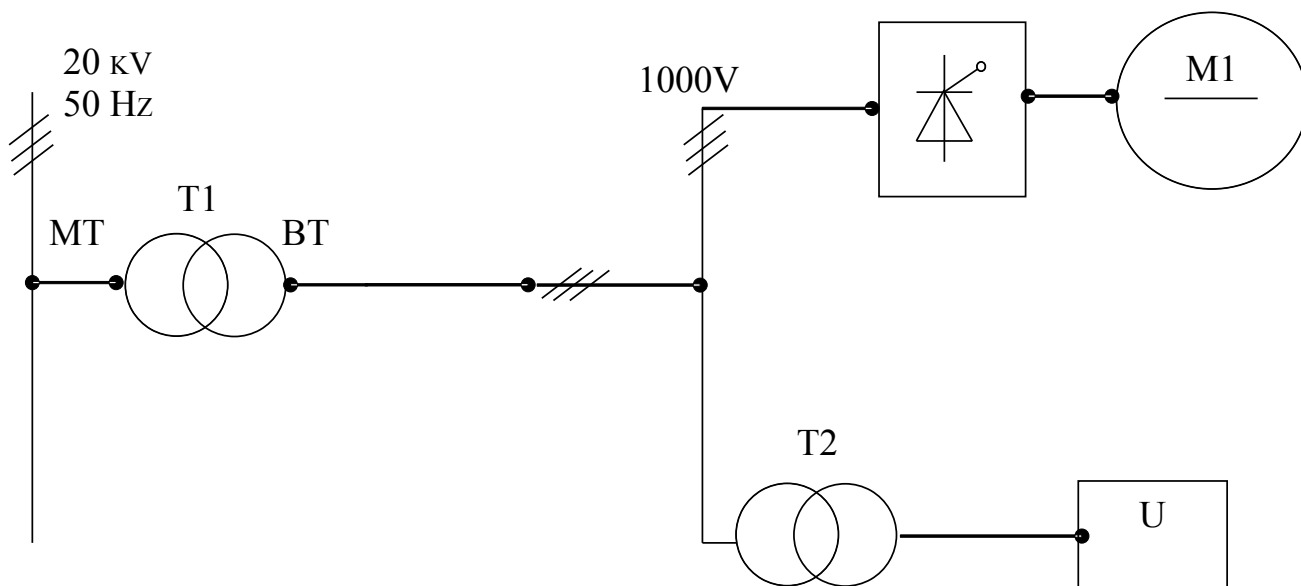
SEZIONE B

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

Utenza U

Potenza assorbita	[kW]	200
-------------------	------	-----

Tensione nominale	[V]	400
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 .
4. Determinare i principali parametri del trasformatore T1

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

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

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE B

PROVA PRATICA

TEMA N. 6

In estate, con condizioni esterne pari a 30 °C e umidità relativa al 70%, all'interno di un capannone delle dimensioni di 20 x 30 x 4 m³, attraverso l'utilizzo di un impianto per la climatizzazione a tutt'aria si deve garantire una temperatura di 26 °C con umidità relativa 70%, mediante $n = 5$ ricambi/ora e in presenza di un carico sensibile totale di 5 kW prodotto dalle sole macchine elettriche, in assenza di personale. Il candidato calcoli (i) la potenza termica della batteria fredda dell'impianto di climatizzazione, (ii) la temperatura dell'aria di immissione, (iii) la potenza della batteria calda dello stesso impianto e (iv) la portata di acqua di condensa da smaltire.

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

IL CASO DELLE CARTIERE GRUBO

Le cartiere Grubo hanno appena lanciato il nuovissimo impianto 'V9': una nuova linea produttiva di carta fra le più avanzate e moderne al mondo della lunghezza di 180 metri con una velocità di progetto pari a 2.000 metri di carta finita / minuto. L'impianto è costato alla Grubo 180 milioni di euro (ammortizzabili su 10 anni) ed è entrato in funzione un anno fa, dopo numerose prove su impianti pilota condotte in precedenza che hanno generato costi per 40.000 €.

La tipologia produttiva

Il gruppo Grubo, con un fatturato consolidato annuo pari a oltre 1,7 miliardi di euro, è il più grande produttore di carta in Italia ed uno dei *leader* in Europa. L'azienda negli ultimi anni si è concentrata sull'elevato contenuto qualitativo dei prodotti e sul miglioramento della qualità dei servizi attraverso la razionalizzazione dei processi produttivi e il potenziamento delle strutture logistiche. Il gruppo possiede 6 stabilimenti produttivi.

Lo stabilimento di Vico Mareello è dedicato alla produzione di patinatino LWF, carta adatta per opere tipografiche di grande qualità stampate in quadricromia (dallo stabilimento è uscito il 50% della produzione totale del gruppo nell'ultimo anno), patinato senza legno CWF (30% della produzione totale del gruppo nell'ultimo anno), carta da quotidiani e carta grafica naturale (25% della produzione del gruppo nell'ultimo anno).

La produzione del gruppo si concentra principalmente nel settore delle carte grafiche, dove è presente con una completa gamma di prodotti. In particolare, il *core business* dell'impresa è rappresentato dalla carta patinata utilizzata per cataloghi, riviste, stampati pubblicitari, libri; inoltre, Grubo è il maggiore produttore italiano di carta da giornale ed elenchi telefonici, attraverso l'uso di fibra riciclata e naturale.

Le differenti tipologie di prodotti realizzate dal Gruppo negli ultimi 12 mesi sono riassunte nella Tabella 1.

Tabella 1 – Dati di produzione totale relativi agli ultimi 12 mesi.

Tipo di prodotto	Prodotto	Grammatura (grammi/mq)	Migliaia di tonnellate prodotte
Carta grafica patinata	Patinata senza legno CWF	180	828
	Patinatino LWF	140	668
Carta grafica naturale	Quotidiani QCG	70	135
	Naturali ed altre grafiche NCG	120	188

Il 50% della produzione viene destinato al mercato italiano, mentre il 40% della produzione viene destinato al resto dell'Europa. Il gruppo dispone di una capacità produttiva totale di 2,6 milioni di tonnellate di carta, gran parte della quale destinata alla carta grafica patinata. La quota di mercato in Europa è nell'ordine del 10%.

Il gruppo Grubo ha rilevanti integrazioni a monte nell'energia (2,1 miliardi di KWh prodotti ogni anno direttamente e in consorzio con altre imprese attraverso cogenerazione, impianti idroelettrici e termoelettrici). Dispone inoltre di una propria rete distributiva a valle in Italia e in Spagna.

La strategia di sviluppo del Gruppo è basata sulla forte posizione competitiva raggiunta in termini di efficienza nella struttura di costo, nella qualità di prodotto e servizio, nel *know how* e nell'innovazione tecnologica.

Lo stabilimento di Vico Marello è costituito da tre linee produttive, oltre alla nuova 'V9': la 'V1', la 'V5' e la V7'. Ogni linea viene impiegata a percentuali variabili della propria capacità produttiva in termini di metri di *output* / minuto, in funzione del prodotto desiderato (si veda la Tabella 3) e del *mix*, diverso per ogni impianto.

Le materie prime destinate a rifornire la linea di produzione dipendono dalla tipologia di prodotto da realizzare. La Tabella 2 riporta i coefficienti unitari relativi all'assorbimento delle diverse componenti, identici per ogni linea produttiva e per ogni stabilimento.

Tabella 2 – Coefficienti standard di assorbimento di materie prime (tonnellate di materia prima / tonnellata di mix produttivo lordo).

Prodotto	Pastalegno	Pasta a secco	Pasta disinchiostrata	<i>Deink</i> e caolino
Patinata senza legno CWF	0,5	0,3	0,19	0,01
Patinatino LWF	0,25	0,49	0,25	0,01
Quotidiani	-	0,475	0,52	0,005
Naturali ed altre grafiche	0,38	0,21	0,40	0,01

Il costo delle materie prime è molto diverso: la pastalegno costa complessivamente il 20% in più della pasta a secco, il cui costo è a sua volta il 25% in più rispetto alla pasta disinchiostrata. Bisogna inoltre tenere conto di errori, scarti e sfridi durante il processo produttivo, che ammontano complessivamente al 3% della produzione finale totale.

Oltre alle materie prime, nel processo produttivo vengono impiegati additivi chimici (*deink* e caolino) il cui costo è pari a 120 €/litro (la densità di questi materiali è circa pari a 0,75 kg/litro). Infine, il consumo di acqua (che viene prima miscelata ai componenti per poi essere estratta attraverso essiccamento al 98%) è pari a 1 litro per ogni kg di componenti.

Il processo produttivo

Il processo produttivo della carta è molto semplice. All'inizio si tratta di mescolare le materie prime, e attraverso un processo di macerazione di ottenere una pasta omogenea. Ogni tipologia di carta presuppone un diverso metodo, sia per la temperatura di processo sia per il trattamento chimico, a causa della diversa grammatura. In particolare, il tempo di attraversamento del prodotto (ovvero la permanenza media di un kg di prodotto nell'impianto) è molto meno contenuto per le carte grafiche, così come invece il grado di assorbimento degli additivi è molto più lento. Il calore specifico delle materie prime può essere ritenuto omogeneo.

Tabella 3 – Caratteristiche di processo per i prodotti relativi all'impianto 'V9'

Prodotto	Temperatura di processo	Tempo di attraversamento	Capacità produttiva sfruttata
Patinata senza legno CWF	300 C°	2 h	80%
Patinatino LWC	250 C°	1,5 h	85%
Quotidiani	120 C°	1 h	90%
Naturali ed altre grafiche	100 C°	1 h	85%

Le campagne produttive a ciclo continuo lanciate sulla ‘V9’ durano 10 giorni lavorativi, durante i quali la sequenza dei prodotti in lavorazione negli ultimi 12 mesi è stata la seguente:

CWF (4 giorni) – LWF (4 giorno) – QCG (1 giorno) – NCQ (1 giorno)

Ogni frazione di campagna, nel corso della quale viene realizzato un solo prodotto, viene chiamata ‘slot’.

Dopo 10 giorni lavorativi, l’impianto si ferma e viene interamente ripulito dalle scorie per 1 giorno (si stima che il costo del trattamento sia pari a 1.500 euro/giorno).

Alla fine del processo produttivo, la carta viene imballata da una macchina idonea al trattamento di 110 bobine/ora (ogni bobina è composta da esattamente 999 metri di carta), costata a suo tempo 10 mln. € da ammortizzare in 10 anni. Le bobine in uscita hanno caratteristiche simili indipendentemente dall’impianto di produzione e sono stoccate in un magazzino coperto avente una superficie di 25.000 metri quadri con deposito a ripresa automatica. Le bobine sono stoccate con il loro asse verticale (quindi lo spazio occupato dipende solo dall’area della base del cilindro). Il deposito è unico per tutti i prodotti di stabilimento, ed il suo costo annuo di gestione (escludendo il costo del personale) è pari a 350.000 €. Il tempo medio di stoccaggio delle bobine è simile per tutti i prodotti.

La linea ‘V9’ ha una potenza di targa netta pari a 30 MW (di cui metà relativa ai forni di riscaldamento) e nell’ultimo anno è stata in funzione per 275 giorni (compresi i turni di pulizia dell’impianto), per 24 ore al giorno (tutto lo stabilimento è fermo durante le ferie, gli scioperi, il sabato e la domenica). Il rendimento elettrico dell’impianto è pari al 95% mentre quello meccanico è pari all’84%. La larghezza massima del telo in output è pari a 10,45 metri ma in media l’impianto produce teli larghi 4 metri.

L’energia necessaria per il funzionamento dello stabilimento viene parzialmente acquistata da fornitori certificati al prezzo di 0,1 € / kWh e parzialmente (nella misura del 40%) auto-prodotta nelle ore di punta dal Consorzio della Val Verde attraverso un impianto di cogenerazione (tariffa d’uso 0,01 € / kWh).

L’acqua necessaria per la produzione viene prelevata da un acquedotto privato, e riciclata al 95%.

Il personale di stabilimento dedicato al funzionamento della linea è composto da 750 unità (il 20% di quelle impiegate nell’intero gruppo). Di queste, circa 700 svolgono mansioni di primo livello, seguendo direttamente il processo produttivo (35 si occupano nella gestione degli approvvigionamenti, 40 della gestione del magazzino e delle consegne, i rimanenti sono addetti alle linee di produzione; ognuno di essi lavora per 8 ore al giorno, secondo diversi turni), mentre circa 50 svolgono mansioni di direzione e di supporto indiretto alla produzione. Il costo del lavoro per questa seconda categoria di impiegati è in media pari a 2 volte quello relativo alla prima categoria. La proporzione fra addetti alla produzione, quadri e *staff*, così come gli stipendi, sono simili in tutti gli altri stabilimenti.

Le risorse umane sono organizzate secondo il principio di *job enlargement*, ovvero sistematicamente viene condotta una rotazione delle mansioni. Negli ultimi 12 mesi il controllo di gestione ha registrato costi del lavoro diretto allocati ai prodotti CWF e LWF per € 6,3 milioni ciascuno e invece € 760.000 ciascuno per i prodotti QCG e NCG. I costi del lavoro indiretti registrati per la produzione complessiva nello stabilimento di Vico Marelo ammontano invece a € 10 milioni.

Il quesito

I responsabili del sistema di controllo di gestione interno allo stabilimento di Vico Marelo hanno sempre determinato i costi dei prodotti utilizzando come *driver* di allocazione di tutti i costi indiretti la quantità totale prodotta.

Si tratta innanzitutto di calcolare la quantità di carta prodotta nell'ultimo anno dalla linea 'V9' (per ogni tipo di prodotto) e quindi di stimarne nell'ambito delle informazioni disponibili il costo pieno industriale unitario (CPI) sia nella logica tradizionale dell'impresa sia in un'ottica *activity-based* e confrontando fra loro i risultati ottenuti. In aggiunta alle informazioni dettagliate nel testo è noto che:

- il consumo diretto di materie prime nello stabilimento di Vico Marelo ammonta a 250 milioni di euro;
- i costi generali di produzione dello stabilimento (non riconducibili direttamente all'attività specifica di alcun impianto, escludendo anche il costo dell'energia, il costo del magazzino, il costo del lavoro e gli ammortamenti) negli ultimi 12 mesi sono risultati pari a € 60 milioni;
- lo stabilimento ha assorbito nell'ultimo anno in totale ammortamenti per 43 milioni di euro (di questi il 65% è relativo agli impianti produttivi);
- i servizi generali di manutenzione straordinaria direttamente riconducibili all'impianto V9 (esclusi i riattrezzaggi della linea) hanno comportato spese per circa 120.000 € negli ultimi 12 mesi.

Si facciano le opportune ipotesi operative laddove i dati a disposizione non siano giudicati sufficienti.

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

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE B

PROVA PRATICA

TEMA N. 9

Si assuma di poter schematizzare un'asta per il salto in alto come una trave sottoposta a flessione. Si ipotizzi che l'asta abbia lunghezza di 5 m e sezione circolare, con diametro esterno di 5 cm, e che l'applicazione di una forza di 90 kg_f all'estremità dell'impugnatura produca una deflessione massima di 3 m.

- 1) Si selezioni il materiale con cui realizzare l'asta, con l'obiettivo di rendere minimo il peso dell'asta stessa.
- 2) Con il materiale selezionato al punto precedente, si effettui il dimensionamento dell'asta, imponendo eventuali altri requisiti che si ritengano importanti per la funzionalità del componente.
- 3) Si proponga un processo produttivo idoneo alla realizzazione dell'asta con il materiale selezionato.

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

III COMMISSIONE - SETTORE INDUSTRIALE

SEZIONE B

PROVA PRATICA

TEMA N. 10

Si richiede di progettare un riduttore di velocità a singolo stadio come quello mostrato in figura. Si richiede una coppia nominale in uscita di 1500 Nm a 300 rpm e una velocità nominale in ingresso di 1500 rpm. Si preveda un sovraccarico dinamico di 1.5.

1. Si identifichino l'albero lento e l'albero veloce e si descrivano i componenti utilizzando la numerazione in figura
2. Si dimensionino i due alberi facendo opportune ipotesi sul materiale utilizzato
3. Si scelgano e si dimensionino le ruote dentate
4. Si dimensionino i cuscinetti

