

Università degli Studi di Perugia

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
SEZIONE A
SECONDA SESSIONE 2025 (NOVEMBRE)

**Prova pratica del 15 dicembre 2025 – Settore Industriale
Classe LM-30 – Ingegneria Energetica e Nucleare**

TERNA n. 2

TEMA 1. Si dimensioni un impianto di condizionamento a tutt'aria per un generico ambiente nel quale si deve effettuare il ricircolo dell'aria (la camera di miscela è posta a monte della batteria di pre-riscaldamento BC1). Si considerino le seguenti condizioni termo-igrometriche di progetto dell'aria esterna:

Inverno: $T_{aria} = 2^{\circ}\text{C}$; RH = 70%

Estate: $T_{aria} = 34^{\circ}\text{C}$; RH = 50%

La sala ha una pianta rettangolare di dimensioni pari a 6 x 9 m ed altezza pari a 3 m e può contenere fino ad un massimo di 40 persone.

Si consideri una portata necessaria a garantire la purezza dell'aria interna di 15 m³/h per persona ed una umidità prodotta da ciascun occupante di 50 g/h in inverno e 70 g/h in estate.

Il carico termico esterno dell'ambiente da condizionare risulta essere pari a 20'000 W in inverno e 10'000 W in estate.

Nell'ipotesi che le singole persone sviluppino un carico di 100 W, che i macchinari presenti apportino un carico di 5 W/m² e che l'impianto di illuminazione, avente un'efficienza specifica di 100 lumen/W, assicuri un illuminamento di 500 lux sul piano orizzontale, si richiede:

1. disegnare sul diagramma psicrometrico allegato i trattamenti dell'aria;
2. disegnare uno schema di unità di trattamento aria (UTA) compatibile con i trattamenti dell'aria individuati sul diagramma psicrometrico e descriverlo;
3. definire il carico termico invernale ed estivo totale del locale;
4. determinare la portata d'aria dell'impianto di condizionamento e la massima portata di ricircolo ammissibile;
5. dimensionare le batterie dell'unità di trattamento dell'aria (UTA), adottando una portata di ricircolo pari al 70% di quella massima ammissibile;
6. determinare la potenza termica della caldaia e la potenza frigorifera del gruppo di refrigerazione ipotizzando un adeguato valore del rendimento;
7. calcolare la portata d'acqua necessaria per realizzare la trasformazione nell'umidificatore.

Dato lo schema dell'impianto riportato in Figura 1, ipotizzando un funzionamento solo nel periodo invernale con una temperatura di progetto dell'ambiente pari a 20°C e la temperatura di immissione dell'aria pari a 31°C, e canali a sezione rettangolare o quadrata, si richiede inoltre di:

8. calcolare la portata totale dell'impianto di condizionamento ($\gamma_{p,aria}=1005 \text{ J/kgK}$, $\rho_{aria}=1.225 \text{ kg/m}^3$);
9. dimensionare la singola bocchetta, nell'ipotesi che la velocità di progetto di immissione sia pari a 3.5 m/s e assumendo un fattore di contrazione (k) pari a 0.9;
10. dimensionare la rete di canali in ogni suo tratto, adottando il metodo delle perdite di carico distribuite costanti, utilizzando il diagramma in Figura 2.

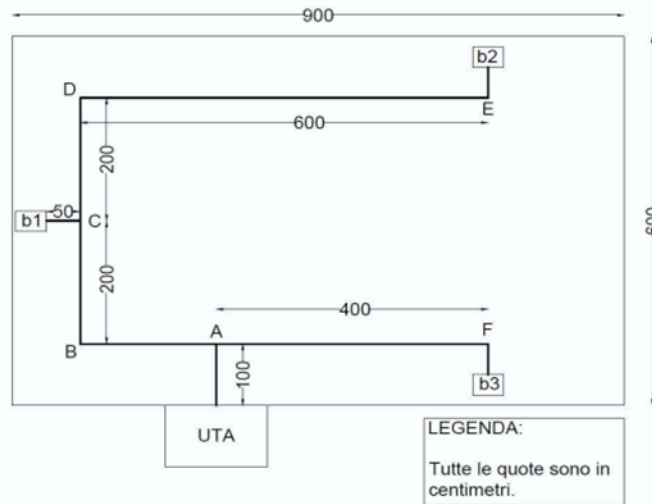


Figura 1. Schema d'impianto

Canali rettangolari: diametri equivalenti per la determinazione delle perdite di carico continue

$a, b =$ dimensioni rettangolo/quadrato, mm		$\varnothing_e =$ diametro equivalente, mm														$f =$ fattore correttivo velocità		
b	a	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	a	b
100	\varnothing_e	109	133	152	169	183	195	207	217	227	236	245	253	261	268	275	\varnothing_e	100
	f	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,76	0,75	0,74	f	
150	\varnothing_e	133	164	189	210	229	245	260	274	287	299	310	321	331	341	350	\varnothing_e	150
	f	0,93	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	f	
200	\varnothing_e	152	189	219	244	266	286	305	321	337	352	365	378	391	402	414	\varnothing_e	200
	f	0,91	0,93	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	f	
250	\varnothing_e	169	210	244	273	299	322	343	363	381	398	414	429	443	457	470	\varnothing_e	250
	f	0,89	0,92	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,87	0,87	f	
300	\varnothing_e	183	229	266	299	328	354	376	400	420	439	457	474	490	506	520	\varnothing_e	300
	f	0,87	0,91	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	f	
350	\varnothing_e	195	245	286	322	354	383	409	433	455	477	496	515	533	550	567	\varnothing_e	350
	f	0,86	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	f	
400	\varnothing_e	207	260	305	343	378	409	437	464	488	511	533	553	573	592	609	\varnothing_e	400
	f	0,84	0,89	0,91	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	0,92	0,91	f	
450	\varnothing_e	217	274	321	363	400	433	464	492	518	543	567	589	610	630	648	\varnothing_e	450
	f	0,82	0,87	0,90	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	f	
500	\varnothing_e	227	287	337	381	420	455	488	518	547	573	598	622	644	666	687	\varnothing_e	500
	f	0,81	0,86	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	f	
550	\varnothing_e	236	299	352	398	439	477	511	543	573	601	628	653	677	700	722	\varnothing_e	550
	f	0,80	0,85	0,88	0,90	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	f	
600	\varnothing_e	245	310	365	414	457	496	533	567	598	628	656	683	708	732	755	\varnothing_e	600
	f	0,79	0,84	0,87	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	f	
650	\varnothing_e	253	321	378	429	474	515	553	589	622	653	683	711	737	763	787	\varnothing_e	650
	f	0,77	0,83	0,86	0,89	0,90	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	f	
700	\varnothing_e	261	331	391	443	490	533	573	610	644	677	708	737	765	792	818	\varnothing_e	700
	f	0,76	0,82	0,86	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	f	
750	\varnothing_e	268	341	402	457	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820	847	\varnothing_e	750
	f	0,75	0,81	0,85	0,87	0,89	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	f	
800	\varnothing_e	275	350	414	470	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875	\varnothing_e	800
	f	0,74	0,80	0,84	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	f	
850	\varnothing_e	282	359	424	482	534	582	626	668	706	743	778	811	842	872	901	\varnothing_e	850
	f	0,74	0,79	0,83	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	f	
900	\varnothing_e	289	367	435	494	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	\varnothing_e	900
	f	0,73	0,79	0,82	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	f	
950	\varnothing_e	295	376	445	506	561	612	659	703	744	783	820	855	889	921	952	\varnothing_e	950
	f	0,72	0,78	0,82	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	f	
1000	\varnothing_e	301	384	454	517	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	\varnothing_e	1000
	f	0,71	0,77	0,81	0,84	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	f	
1100	\varnothing_e	313	399	473	536	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1.022	\varnothing_e	1100
	f	0,70	0,76	0,80	0,83	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	f	
1200	\varnothing_e	324	413	490	558	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1.030	1.065	\varnothing_e	1200
	f	0,69	0,74	0,79	0,82	0,84	0,86	0,87	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	f	
1300	\varnothing_e	334	426	506	577	642	701	757	808	857	904	948	990	1.031	1.069	1.107	\varnothing_e	1300
	f	0,67	0,73	0,77	0,80	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92	f	
1400	\varnothing_e	344	439	522	595	662	724	781	835	886	934	980	1.024	1.066	1.107	1.146	\varnothing_e	1400
	f	0,66	0,72	0,76	0,79	0,82	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	f	
1500	\varnothing_e	353	452	536	612	681	745	805	860	913	963	1.011	1.057	1.100	1.143	1.183	\varnothing_e	1500
	f	0,65	0,71	0,75	0,79	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	f	
1600	\varnothing_e	362	463	551	629	700	766	827	885	939	991	1.041	1.088	1.133	1.177	1.219	\varnothing_e	1600
	f	0,64	0,70	0,74	0,78	0,80	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,91	f	
1700	\varnothing_e	371	475	564	644	718	785	849	908	964	1.018	1.069	1.118	1.164	1.209	1.253	\varnothing_e	1700
	f	0,64	0,69	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	f	
1800	\varnothing_e	379	485	577	660	735	804	869	930	988	1.043	1.096	1.146	1.195	1.241	1.286	\varnothing_e	1800
	f	0,63	0,69	0,73	0,76	0,79	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	f	
1900	\varnothing_e	387	496	590	674	751	823	889	952	1.012	1.068	1.122	1.174	1.224	1.271	1.318	\varnothing_e	1900
	f	0,62	0,68	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	f	
2000	\varnothing_e	395	506	602	688	767	840	908	973	1.034	1.092	1.147	1.200	1.252	1.301	1.348	\varnothing_e	2000
	f	0,61	0,67	0,71	0,74	0,77	0,79	0,8	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	f	
2200	\varnothing_e	410	525	625	715	797	874	945	1.013	1.076	1.137	1.195	1.251	1.305	1.356	1.406	\varnothing_e	2200
	f	0,60	0,66	0,70	0,73	0,76	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88	f	

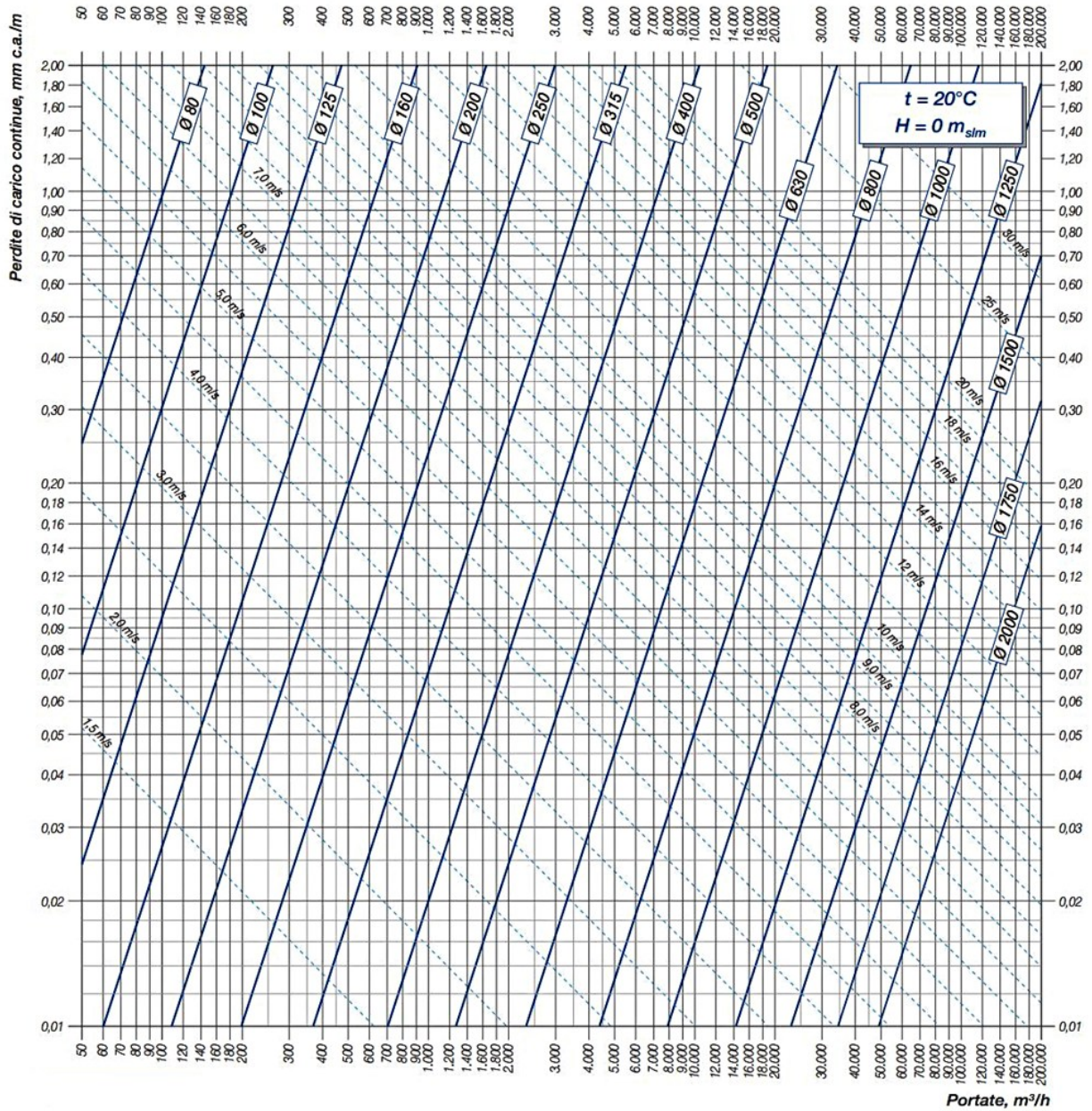


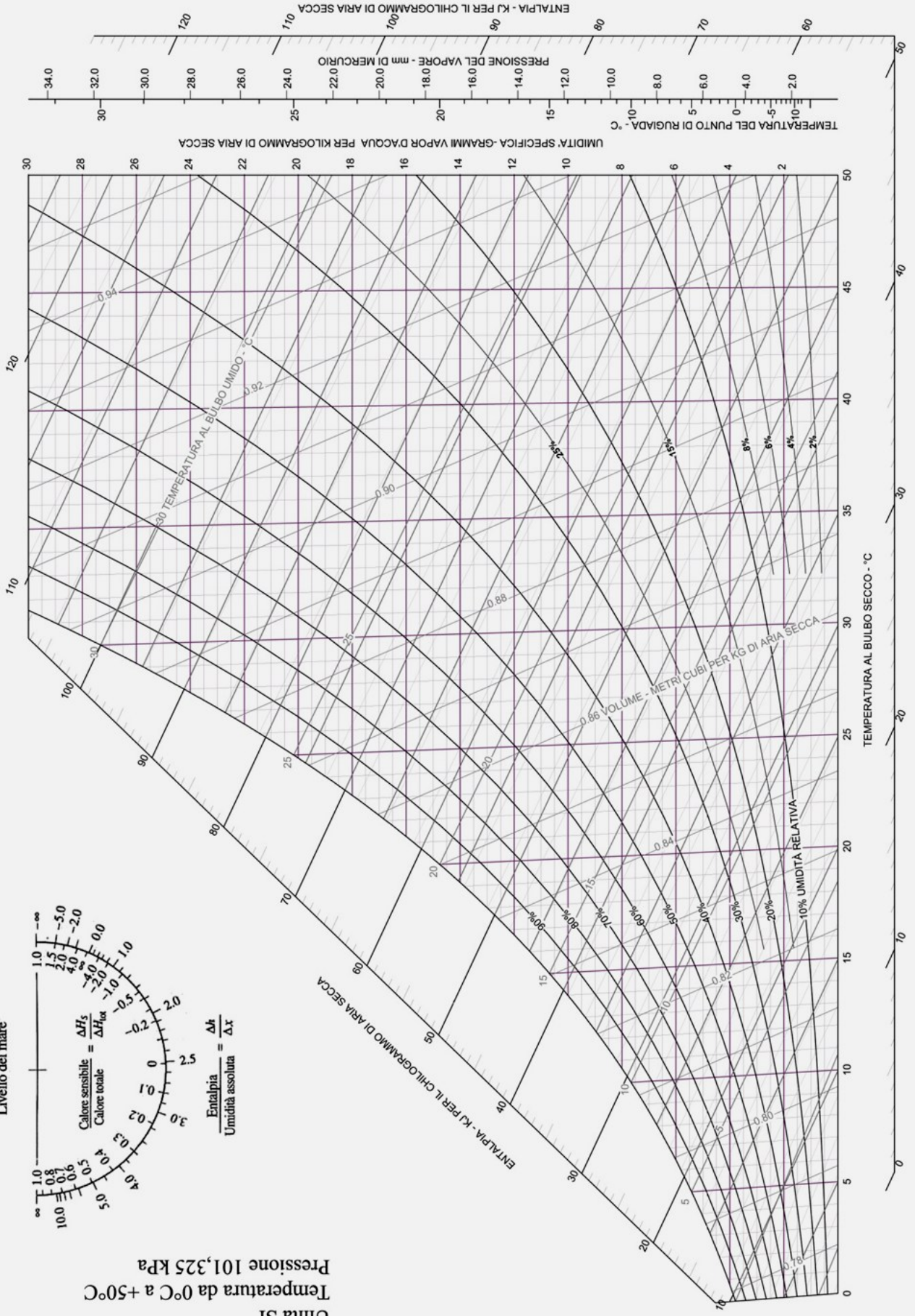
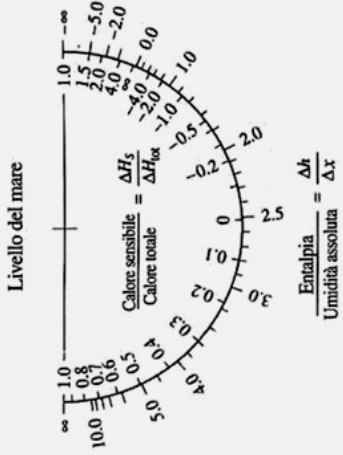
Figura 2. Diagramma portata/ perdita di carico

Diagramma Psicrometrico

Unità SI

Temperatura da 0°C a +50°C

Pressione 101,325 kPa



TEMA 2. Dimensionamento di un impianto fotovoltaico residenziale da realizzare nel Sud Italia.

Una villetta situata a Palermo ha un consumo annuo di 3.200 kWh. È previsto l'inserimento di un impianto fotovoltaico sul tetto piano dell'abitazione, con struttura orientata a Sud e inclinazione 15°, finalizzato alla copertura completa dei consumi elettrici.

Dati forniti:

- Consumo annuo: 3.200 kWh
- Orientamento: Sud
- Inclinazione: 15°
- Luogo: Palermo
- Potenza nominale modulo: 380 Wp
- Superficie modulo: 1,6 m²
- Costo medio impianto: 1.150 €/kWp
- Irraggiamento solare medio annuo a Palermo: 1.700 kWh/m² (v. *Figura 1*)

Si richiede al candidato di:

1. Determinare la potenza dell'impianto:
 - Calcolare i kWp necessari per coprire il fabbisogno annuale, tenendo conto dell'elevata producibilità specifica della Sicilia.
2. Dimensionare le stringhe fotovoltaiche (a titolo esemplificativo si riporta in *Figura 2* una scheda tecnica di un modulo fotovoltaico in silicio policristallino):
 - Determinare il numero di moduli da 380 Wp.
 - Calcolare la superficie minima richiesta, considerando le distanze tra file su tetto piano.
3. Verificare la producibilità specifica:
 - Stimare la producibilità annua.
 - Confrontare con valori tipici della Sicilia (>1400 kWh/kWp).
4. Stimare i costi:
 - Calcolare il costo dell'impianto (€/kWp).
 - Valutare il ritorno economico anche in presenza di un sistema di accumulo opzionale.
5. Elaborare considerazioni progettuali:
 - Considerare possibili ombreggiamenti tra file di moduli su tetto piano.
 - Suggestire eventuali alternative (es. moduli bifacciali, inclinazioni differenti).

Elaborati richiesti:

- Relazione con calcoli dettagliati, tabelle riassuntive e diagrammi.
- Relazione con eventuale confronto con dati medi nazionali o regionali di producibilità specifica.
- Discussione dei risultati e conclusioni sulle scelte progettuali.

ITALIA

Carta della radiazione solare

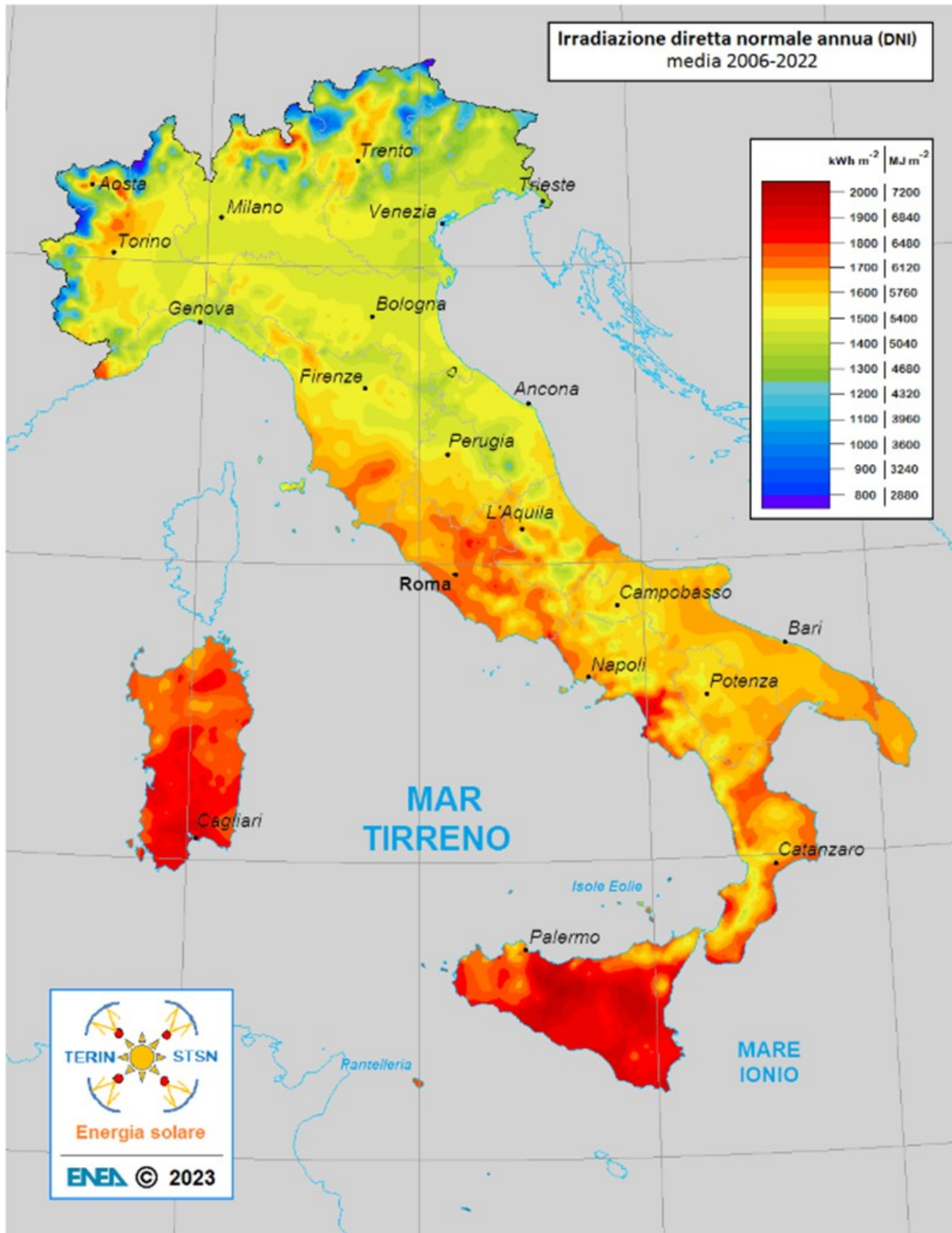
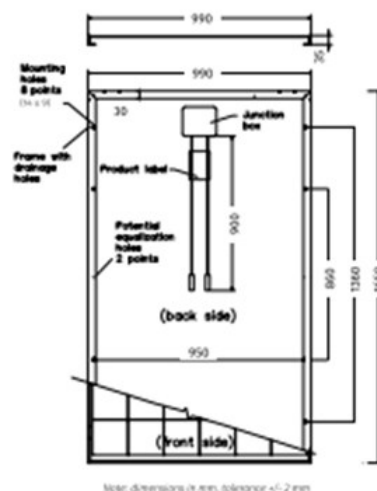


Figura 1. Carta della radiazione solare media annua (fonte. ENEA)

Caratteristiche meccaniche

Dimensioni	3650 x 990 x 35 mm
Peso	17,7 kg
Vetro	Ad alta trasmissione, basso contenuto di ferro, temperato, ARC, spessore 3,2 mm
Celle	60 celle policristalline 156,75 x 156,75 mm
Corrice	Profilo in alluminio anodizzato con fori di drenaggio
Scatola di giunzione	Certificato conforme a IEC 62790, IP 68, 3 diodi di bypass
Cavo solare	Cavo solare, lunghezza 900 mm o personalizzata assemblato con connettori compatibili da 4 mm ²
Backsheet	Film composito multistrato - bianco
Massima corrente inversa (Ir)	25 A
Tensione massima di sistema	1000 V (1500 V su richiesta)
Carico massimo (neve)	Carico di progetto: 3600 Pa, (5400 Pa incluso fattore di sicurezza 1,5)
Carico massimo (vento)	Carico di progetto: 1600 Pa, (2400 Pa incluso fattore di sicurezza 1,5)



Caratteristiche elettriche - STC*

FU 280 P

Tolleranza classe di potenza	W	0/+5
Potenza del modulo (Pmax)	W	280
Tensione di circuito aperto (Voc)	V	39,00
Corrente di corto circuito (Isc)	A	9,21
Tensione di massima potenza (Vmpp)	V	31,80
Corrente di massima potenza (Impp)	A	8,85
Efficienza modulo	%	17,14

Caratteristiche elettriche - NOCT**

FU 280 P

Potenza del modulo (Pmax)	W	205
Tensione di circuito aperto (Voc)	V	35,81
Corrente di corto circuito (Isc)	A	7,57
Tensione di massima potenza (Vmpp)	V	28,80
Corrente di massima potenza (Impp)	A	7,15

Caratteristiche operative

Coefficiente di temperatura Isc	%/°C	0,05
Coefficiente di temperatura Voc	%/°C	-0,27
Coefficiente di temperatura Pmax	%/°C	-0,35
NOCT**	°C	45
Temperatura di esercizio	°C	da -40 a +85

Certificazioni

Sito produttivo	ISO 9001 - 14001 - 45001
Prodotto	IEC 61730, IEC EN 61215, Fire Class C, IEC EN 61701, IEC EN 62716, Classe 1 UNI9177, INMETRO, HW3

Imballaggio

Quantità / pallet	31 - 34 pz
Container 40' HC	910 pz / 28 pallet

Le informazioni incluse in questa scheda tecnica del modulo sono fornite solo a scopo informativo e sono soggette a modifiche senza preavviso. Nessun diritto contrattuale è stabilito o deve essere dedotto a causa dell'affidamento dell'utente sulle informazioni contenute in questa scheda tecnica. Fare riferimento alla guida per l'utente del modulo e al documento delle specifiche del prodotto del modulo per informazioni tecniche più dettagliate sulle prestazioni, l'installazione e l'utilizzo del modulo.

*Standard Test Conditions STC: 1000 W/m² - AM 1.5 - 25 °C - Tolleranza Pmax (+2%) Voc (+4%) Isc (+2%)
 **Nominal Operating Cell Temperature NOCT: 800 W/m² - T+45 °C - AM 1.5

F_00

Figura 2. Esempio di scheda tecnica di un modulo fotovoltaico in silicio policristallino

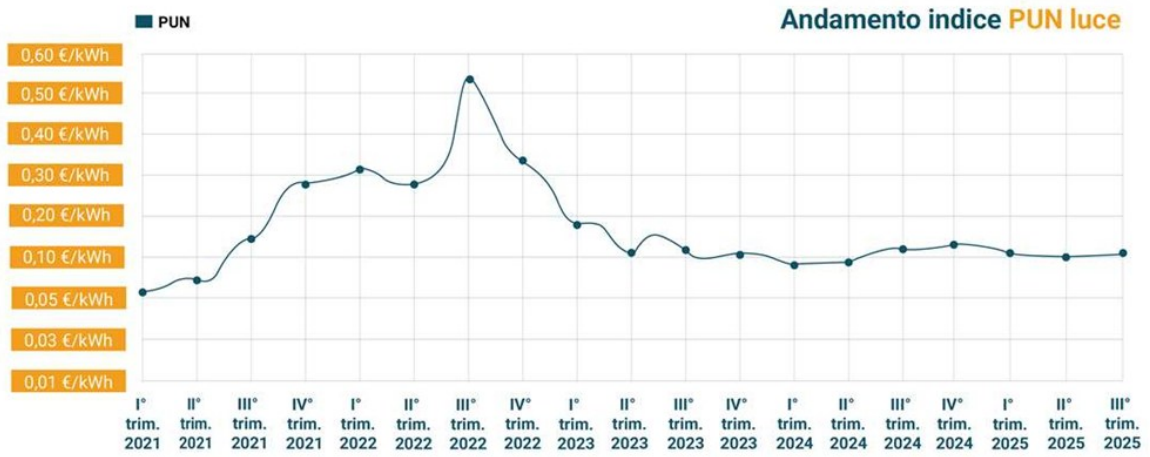


Figura 3. Andamento del Prezzo Unico dell’Energia elettrica (Indice PUN Luce, fonte. <https://tariffe.segugio.it/quide-e-strumenti>)

TEMA 3. Si consideri il ciclo combinato gas-vapore con post-combustione schematizzato in figura, in grado di produrre complessivamente 410 MW elettrici

Facendo riferimento al ciclo reale, considerando i dati riportati in tabella ed assumendo la temperatura dei fumi al camino pari a 152 °C, si:

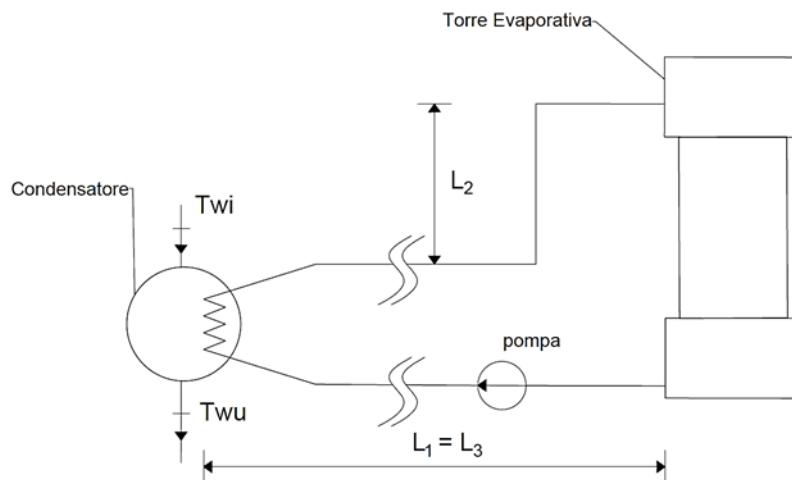
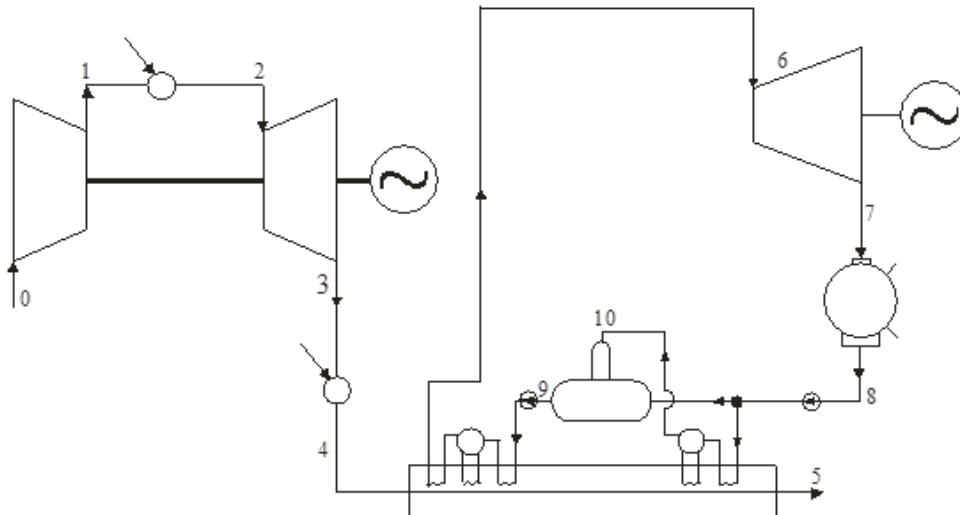
- A. determinino le potenze elettriche prodotte separatamente da turbogas e turbina a vapore;
- B. calcoli il rendimento elettrico dell'intero impianto;
- C. valuti la potenza termica da smaltire al condensatore;
- D. disegni il diagramma T-s del ciclo e di scambio termico nella caldaia a recupero;

Si calcoli inoltre la potenza assorbita dalla pompa asservita al circuito condensatore-torre evaporativa, facendo riferimento ai seguenti dati ed al relativo schema d'impianto:

temperatura di ingresso e uscita acqua al condensatore, T_{wi} : 15°C, T_{wu} : 50°C

- perdita di carico complessiva nel condensatore (lato acqua): 2 bar
- pressione (relativa) richiesta all'ingresso della torre evaporativa, a monte degli ugelli: 1.5 bar
- tratti rettilinei del circuito: $L_1 = L_3 = 13\text{m}$, L_2 : 12m
- per le perdite concentrate si assumano 6 curve a 90°.

Si assumano valori tecnicamente accettabili per tutte le grandezze non indicate.



<p>Sezione Turbogas</p> <p>$T_0 = 288 \text{ K}$ $T_2 = 1420 \text{ K}$ $P_0 = 1 \text{ bar}$ $\beta = 19.5$ $h_c = 0.83$ $h_T = 0.88$ $h_{alt} = 0.98$</p>	<p>Sezione Vapore</p> <p>Pressione caldaia 48 bar Temperatura surriscaldato 530 °C Pressione di esercizio del degasatore = 2.8 bar $h_T = 0.87$ $h_{alt} = 0.96$ $DT_{PP \text{ caldaia}} = 25 \text{ °C}$ Pressione esercizio del condensatore = 0.1 bar</p>
<p>Combustibile: LHV= 48 000 kJ/kg Aria: K=1.378 R=289 J/kg K Fumi: K=1.363 R=293 J/kg K</p>	