

PRODUZIONE DI POTENZA DA FONTI RINNOVABILI
AA 2014-15

Appello del 6 Febbraio 2015

Prof. Silva e Manzolini

Tempo a disposizione: 1,5 ore
Allievi Meccanici

Avvertenze per lo svolgimento del tema d'esame:

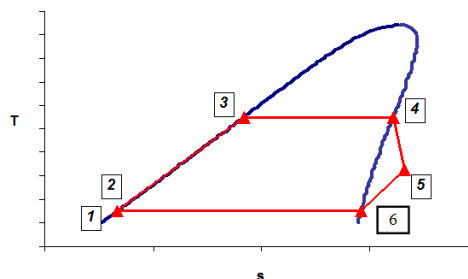
- 1) Indicare chiaramente nome e cognome su **tutti i fogli** che si intendono consegnare.
- 2) Il punteggio si riferisce ad esercizi svolti in modo completo con risultati numerici esatti. Risultati numerici corretti ma non accompagnati dalle relative spiegazioni non saranno presi in considerazione. Il punteggio finale verrà normalizzato in base ai risultati medi.
- 3) Rispondere brevemente ma con chiarezza solamente ai quesiti posti. Calcoli e spiegazioni - pur corretti in sé - che non rispondono ai quesiti posti non saranno considerati ai fini della valutazione.
- 4) Parlare con i colleghi e/o copiare prevede l'immediato annullamento del compito.
- 5) Tutti gli strumenti necessari per la risoluzione del tema d'esame sono riportati sul tema stesso. NON è consentito l'utilizzo del materiale didattico (libri, appunti, esercitazioni, esercizi svolti,...)

Quesito 1 (18 punti)

CASO A

Si consideri un ciclo geotermico binario di tipo cogenerativo, realizzato mediante un ciclo Rankine saturo a iso-pentano alimentato da una sorgente geotermica ad acqua liquida che fornisce una portata di 350 t/h alla temperatura di 160°C. Sono noti i seguenti dati (il punto 2 corrisponde all'uscita della pompa di alimento e il punto 6 alle condizioni di vapore saturo):

Punto	T, °C	P, bar	h, kJ/kg
1	40	1.510591	233.17
2	40	7.5507	233.65
3	100	6.4742	384.90
4	100	6.4742	661.90
5	64.83	1.510591	613.03
6	40	1.510591	567.54



Sono noti inoltre:

- c_p medio del liquido (iso-pentano) 2.52 kJ/kgK
- c_p medio del fluido geotermico 4.4 kJ/kgK
- ΔT di sub-cooling del fluido all'uscita dell'economizzatore 2°C
- ΔT di pinch-point sull'evaporatore 6°C
- rendimento organico-elettrico alternatore 96%
- assorbimento elettrico ausiliari (inclusa pompa di alimento) 250 kW
- T minima di reiniezione fluido geotermico 60°C

Il recupero termico a fini cogenerativi è effettuato mediante il calore ottenuto raffreddando il fluido geotermico all'uscita dall'economizzatore fino alla temperatura minima di reiniezione.

Si richiede (i) di disegnare lo schema di impianto (2 punti). Si calcolino inoltre le seguenti grandezze: (ii) rendimento elettrico netto di impianto (2 punti), (iii) rendimento di primo principio (1 punto) e (iv) rendimento di secondo principio (2 punti).

CASO B

Si consideri ora l'introduzione di uno scambiatore rigenerativo sullo scarico della turbina per il preriscaldamento del liquido di alimento del ciclo, dimensionato in modo tale che la temperatura del fluido geotermico all'uscita dall'economizzatore sia pari a 85°C. Si consideri l'ipotesi semplificativa che i punti termodinamici del ciclo rimangano invariati e che il calore cogenerativo sia ottenuto raffreddando sempre il fluido geotermico all'uscita dall'economizzatore fino alla temperatura minima di reiniezione.

Si calcoli (v) l'efficacia che deve avere il rigeneratore (3 punti), (vi) la temperatura dell'isopentano all'ingresso nell'economizzatore (2 punti), (vii) la potenza termica cogenerata (2 punti) e (viii) il rendimento di primo principio dell'impianto in questa nuova configurazione (1 punto).

Considerando infine che le ore equivalenti di funzionamento in un anno sono 2800, che il costo differenziale dell'impianto rispetto al Caso A) è di 800'000 € (l'impianto B ha un costo maggiore di A), che il prezzo di vendita del calore alle utenze termiche è pari a 0.085 €/kWh e che rendimento termico di riferimento per la generazione separata è pari al 90% (combustibile impiegato gas naturale, emissione di CO₂ da gas naturale pari a 200 g/kWh, riferita al PCI), si determini (ix) la valorizzazione specifica (€/t) che occorrerebbe dare alla CO₂ evitata per ottenere un tempo di pay-back di un anno (riferito all'investimento differenziale dell'impianto B rispetto a quello A) (3 punti).

Quesito 2 (12 punti)

Una turbina eolica tripala a giri variabili e calettamento variabile ha un rotore di diametro pari a 110 m, una velocità nominale di 11.5 m/s ed è progettata con un λ_{tip} ottimale pari a 7.51. Sapendo che il rendimento fluidodinamico della macchina è pari a 81.5% (rapporto tra il Cp reale e il Cp di Betz), che il rendimento del moltiplicatore di giri è pari al 96.5% e il rendimento organico-elettrico dell'alternatore è pari al 97%, calcolare (i) la potenza elettrica nominale sviluppata in condizioni di 1 atmosfera e 25°C (la densità dell'aria a 1 atm e 25°C è pari a 1.225 kg/m³) (2 punti) e (ii) la velocità di rotazione in condizioni nominali (2 punti).

Nell'ipotesi di validità del teorema di Betz si determini (iii) l'angolo di calettamento in corrispondenza dell'apice della pala (tip), sapendo che l'angolo di incidenza ottimo è pari a 8° (2 punti).

Sapendo inoltre che la potenza elettrica sviluppata dalla macchina alla velocità di cut-in è pari a 110 kW, che la macchina non presenta limitazioni inferiori al numero di giri del rotore e nell'ipotesi di invarianza dei rendimenti organici ed elettrici, si determini (iv) la velocità del vento in queste condizioni (2 punti), (v) la velocità di rotazione della macchina (2 punti) e (vi) la variazione dell'angolo di calettamento rispetto alle condizioni nominali (2 punti).

Quesito 1

	Dati	
m geo	350 t/h	97.2 kg/s
T	160 °C	
Cp geot.	4.4 kJ/kgK	
Cp isop.	2.52 kJ/kgK	
DT sc	2 °C	
DT pp	6 °C	
eta o-el	0.96	
P aux	250 kW	
T min geo	60 °C	
T out ECO	85 °C	
h eq th	2800 h	
emiss. Spec. NG	200 g/kWh	
Eta rif. th	90%	
prezzo vendita calore	8.5 c€/kWh	
Delta costo	800000 €	

Risultati	
parte A	
Q eva	23100 kW
m isop.	81.90 kg/s
Q eco	11976 kW
T geot. out ECO	78.0 °C
P el TV	3842 kW
P el netta	3592 kW
Eta CV	10.2 %
Eta sorg. Th	82.0 %
Eta el netto	8.4 %
Q max	42777.78 kW
Q cog. geot.	7702 kW
Q cog. geot.	21566 MWh
Eta th netto	18.0%
Eta I princ.	26.4%
T cond	313.0 K
T m logaritmica	108 °C
T m logaritmica	381 K
Eta Lorentz	17.8%
EX flusso geo	7618 kW
Eta II	47.2%
emiss.spec. Caldaia	222.2 g/kWh
Emiss. Evitate annuali th	4792.5 t/anno

Risultati	
parte B	
	per diff eco
Q eco	8983.3 kW
Q rig	2992 kW
Q max rig	3726 kW
ε_{rig}	80.3%
T out rig	54.5 °C
Q eco	8983 kW
T geot. Out ECO (verifica)	85.0 °C
Eta el CV	11.2%
Eta el netto	8.4%
Q cog. geot.	10694 kW
Q cog. geot.	29944 MWh
Eta th. Netto	25.0%
Eta I princ.	33.4%
Delta Q th cog	2992 kW
Delta Q th cog	8378 MWh/anno
Emiss. Evitate annuali th	6654 t/anno
Delta emissioni	1862 t/anno
Valorizzazione CO2	47.2 €/t
CF caso A calore	€ 2.079.588.528 €/anno
CF caso B calore	€ 2.887.500.000 €/anno
Delta Flusso cassa da calore	€ 712.159 €/anno
Flusso di cassa da CO2	€ 87.841 €/anno
Flusso di cassa totale	€ 800.000 €/anno

Quesito 2

Dati

D	110 m
v nom	11.5 m/s
Eta	0.815
Eta multipl.	0.965
Eta org-el	0.970
Lambda tip	7.51
W cut-in	110 kW
ro	1.225 kg/m ³
Alfa opt	8 °

Risultati

AD 9503 m2
W_{ID nom} 8852.7 kW
W_{Betz} 5246.0 kW 0.592593
W_{pale} 4276 kW
W_{el} 4002 kW 3985
C_p 0.483
omega 1.570 rad/s 14.995 giri/min

	u [m/s]	v _D [m/s]	w [m/s]	Teta [rad]	Teta [°]	Gamma [°]
al tip	86.37	7.67	86.70	0.0885384	5.1	-2.93

W_{pale} 117.5 kW
W_{Betz} 144.2 kW
W_{ID} 243.3 kW
V_{cut-in} 3.47 m/s
omega cut-in 4.53 giri/min

omega cut-in 0.474 rad/s

Nessuna variazione del calettamento!