POLITECNICO DI TORINO

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE
II SESSIONE ANNO 2002

SEZIONE B – SETTORE INDUSTRIALE – CLASSE INGEGNERIA INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DEL 13/2/2003

E' richiesta la valutazione di un intervento di recupero energetico effettuato in uno stabilimento che produce pannelli in legno multistrato secondo il processo produttivo descritto nel seguito.

L'intervento, effettuato nel 2000, è consistito nell'installazione di uno scambiatore di calore a recupero, entrato in funzione all'inizio del 2001.

L'intervento è stato effettuato sulla base di una previsione del recupero energetico basata su dati del 1998.

La valutazione richiesta consiste nella verifica dei dati di previsione e dell'effettivo recupero di energia, quale risulta dal consumo di gas naturale degli anni 2000 e 2001.

Si richiede inoltre di determinare l'apposito indice di valutazione del recupero energetico specificato più oltre.

Si richiede infine di definire le modalità di una misura delle prestazioni dello scambiatore di calore, per un'ulteriore verifica dell'efficacia dell'intervento.

Nel seguito vengono descritti:

- ***il processo produttivo e i fabbisogni termici***
- ***le modalità dell'intervento per il recupero energetico***
- ***la previsione del recupero energetico fatta sulla base dei dati del 1998***
- ***i dati relativi al consumo di energia e alla produzione di pannelli degli anni 2000 e 2001***

PROCESSO PRODUTTIVO E FABBISOGNI TERMICI

Il processo produttivo inizia con la produzione di sottili fogli, ricavati da spezzoni di tronchi di pioppo. I fogli vengono essiccati in appositi essiccatoi che rimuovono l'acqua presente nel legno; una parte dei fogli viene quindi tagliata in strisce che sono trattate con appositi collanti e impilate per realizzare i pannelli.

I pannelli vengono quindi pressati a caldo e sottoposti ad una lavorazione finale che li porta alle dimensioni richieste.

Nelle varie fasi del processo vengono prodotti scarti di lavorazione, sia in forma di polverino di legno che di sfridi.

Già prima dell'intervento per il recupero energetico, gli scarti venivano utilizzati per contribuire al fabbisogno di energia termica del processo, alimentando un generatore di calore a fluido diatermico, tuttora operativo, che genera prodotti di combustione alla temperatura di 400 °C.

Al fabbisogno complessivo del processo contribuiva anche un secondo generatore di calore alimentato a gas naturale, anch'esso attualmente in esercizio.

Prima dell'intervento, il fluido diatermico riscaldato dai due generatori di calore veniva destinato in parte al riscaldamento diretto e in parte alla produzione di acqua ad elevata temperatura e di vapore.

INTERVENTO PER IL RECUPERO ENERGETICO

L'intervento per il recupero energetico è consistito nell'installazione di uno scambiatore di calore che recupera calore dai prodotti di combustione del generatore alimentato con gli scarti e produce acqua a 170 °C da inviare agli essiccatoi.

Per lo scambiatore di calore vengono forniti i dati riportati in tabella 1.

TABELLA 1	
CARATTERISTICHE NOMINALI DELLO SCAMBIATORE DI CALORE A RECUPERO	
temperatura ingresso prodotti di combustione	400 °C
temperatura uscita prodotti di combustione	200 °C
temperatura ingresso acqua	140 °C
temperatura uscita acqua	170 °C
potenza recuperata	1.70 MW
portata fumi	30000 m^3 /h alla temperatura di uscita

PREVISIONE DEL RECUPERO ENERGETICO BASATA SUI CONSUMI DELL'ANNO 1998

La previsione del recupero energetico ottenibile con l'installazione della caldaia a recupero è illustrata in tabella 2, dove sono riportati i valori stimati dell'energia recuperabile e la corrispondente riduzione del consumo di gas naturale con riferimento ai consumi del 1998 (anno caratterizzato da un funzionamento normale di entrambi i generatori di calore e perciò ritenuto significativo per la valutazione dei consumi e la previsione del recupero).

E' stato assunto un rendimento del generatore a gas naturale pari a 0.8, espresso come frazione utilizzabile della potenza termica data dalla combustione; è stato inoltre assunto un potere calorifico del gas naturale di 34.3 MJ/ m_n^3.

TABELLA 2	
Consumo totale di gas naturale del generatore di calore a fluido diatermico alimentato a gas naturale rilevato nel 1998	968700 m_n^3
energia termica totale utilizzabile corrispondente al consumo di gas naturale rilevato nel 1998, con un rendimento del generatore a fluido diatermico di 0.8 e un potere calorifico del gas naturale di 34.3 MJ/ m_n^3	26581128 MJ
energia termica recuperabile nel corso dell'anno con l'installazione dello scambiatore di calore a recupero, nell'ipotesi di un suo funzionamento per un numero totale di 4200 ore nell'anno	25704000 MJ
riduzione del consumo di gas naturale del generatore a fluido diatermico corrispondente al recupero di energia termica ottenibile con l'installazione dello scambiatore di calore	936735 m_n^3 /anno
riduzione percentuale del consumo di gas naturale nell'anno ottenibile con l'installazione dello scambiatore di calore	96.7 %

Il consumo totale di gas naturale dell'anno 1998 è stato ricavato dai dati della tabella 3, in cui sono riportati i consumi mensili:

TABELLA 3												
ANDAMENTO MENSILE DEI CONSUMI DI GAS NATURALE NELL'ANNO 1998, ESPRESSI IN m_n^3												
anno	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
1998	160000	190000	162000	84000	72500	98000	48000	3200	31000	29000	11500	79500
consumo totale: 968700 m_n^3												

DATI SUL CONSUMO DI ENERGIA E SULLA PRODUZIONE DI PANNELLI DEGLI ANNI 2000 E 2001

L'andamento mensile dei consumi di gas naturale negli anni 2000 e 2001, espressi in m_n^3 al mese, è riportato nel grafico di figura 1 e in tabella 4:

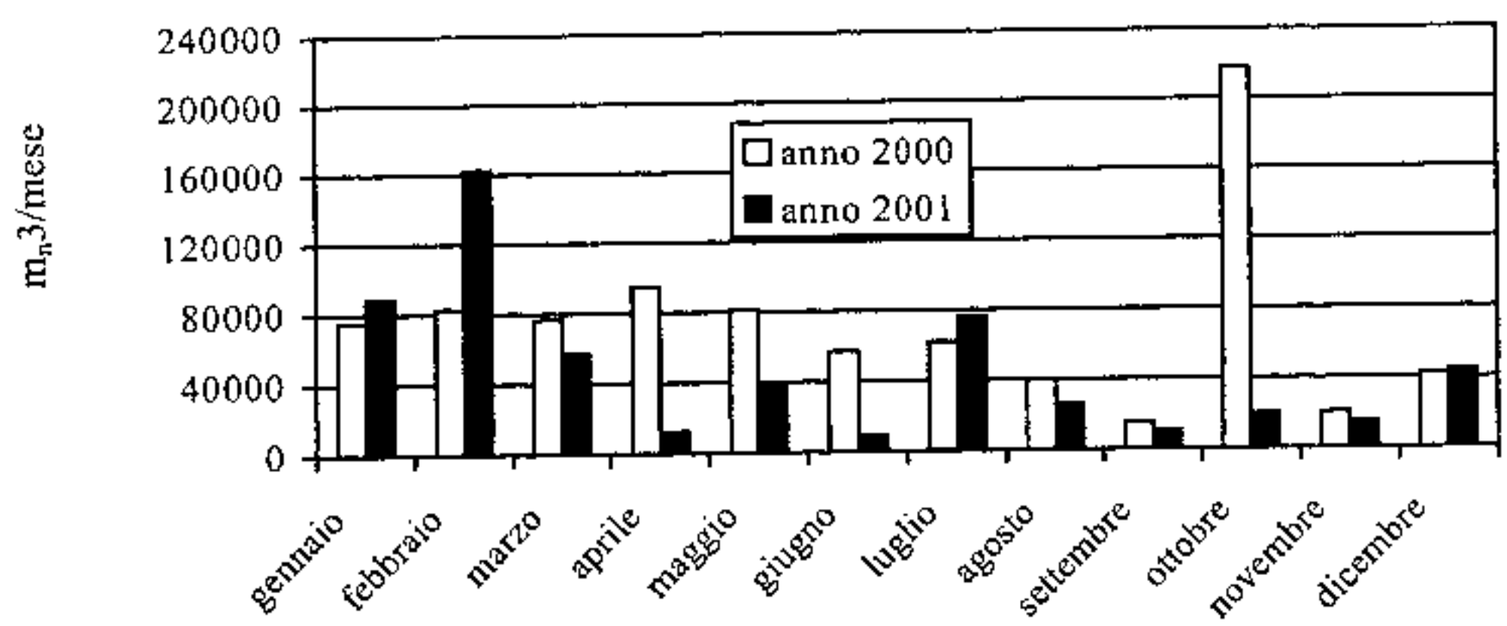

Figura 1 - consumo gas naturale

TABELLA 4												
ANDAMENTO MENSILE DEI CONSUMI DI GAS NATURALE NEGLI ANNI 2000 E 2001, ESPRESSI IN m_n^3												
anno	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
2000	75000	83000	76500	94700	81300	56950	61800	39800	15250	217600	20300	41800
2001	89000	162500	57100	12400	39700	9450	75950	26300	10650	19950	14700	44150
consumo totale 2000: 864000 m_n^3												
consumo totale 2001: 561850 m_n^3												

In tabella 5 è riportata la produzione complessiva di pannelli per il 2000 e il 2001, espressa in metri cubi.

TABELLA 5	
anno	produzione di pannelli, m^3
2000	46500
2001	50000

La figura 1 mostra evidenti irregolarità nell'andamento mensile del consumo di gas naturale, dovute alla dipendenza dai volumi produttivi, dalla tipologia dei prodotti e dalle condizioni climatiche e agli ulteriori elementi elencati nei punti seguenti:

1. *lo scambiatore di calore a recupero è entrato in funzione nel gennaio 2001, ma nei primi due mesi del 2001 è stato utilizzato solo saltuariamente per le operazioni di messa a punto;*
2. *l'elevato consumo di gas naturale del mese di ottobre 2000 è dovuto ad un prolungato fuori servizio del generatore di calore a fluido diatermico alimentato con gli scarti; in tale circostanza tutto il fabbisogno termico è stato assicurato dal generatore di calore a gas naturale;*
3. *nel 2001 l'impiego degli essiccatoi è stato esteso ai giorni festivi, per un totale di 60 giorni distribuiti uniformemente nell'anno, con un consumo medio giornaliero di circa 4800 m^3_n/giorno (in tali giorni è stato utilizzato il generatore a gas naturale, non essendo disponibile il personale per la conduzione dell'altro generatore);*
4. *la temperatura dei prodotti di combustione all'ingresso dello scambiatore di calore a recupero risulta normalmente compresa nell'intervallo 340 ÷ 370 °C, e quindi inferiore al valore previsto di 400 °C; la temperatura all'uscita varia tra 180 °C e 190 °C.*

QUESITI

Sulla base degli elementi riportati nei punti precedenti, si richiede al Candidato:

a) ***di analizzare i dati sulla previsione del recupero energetico riportati in tabella 2 verificandone la compatibilità con le caratteristiche dello scambiatore di calore a recupero riportate in tabella 1;***

b) ***di valutare l'efficacia dell'intervento, utilizzando i dati relativi agli anni 2000 e 2001;***

c) ***di determinare l'indice di valutazione del risparmio energetico, espresso in GJ di energia recuperabile in 10 anni di esercizio, per ciascun milione di Lire (M£) investito, sapendo che l'onere dell'investimento è di 1020 M£;***

d) ***di indicare le modalità di una verifica sperimentale delle prestazioni dello scambiatore di calore a recupero, specificando:***

d1. ***le grandezze da misurare***

d2. ***i punti di misura***

d3. ***la strumentazione da utilizzare***

il Candidato specifichi chiaramente tutte le assunzioni fatte e l'eventuale esclusione dei dati che non ritiene significativi per una corretta valutazione dell'efficacia dell'intervento, nonché l'eventuale utilità di ulteriori dati sulla produzione e sui consumi.

Preliminarmente allo svolgimento del punto d) il Candidato calcoli la portata dei prodotti di combustione corrispondente alle temperature e alla potenza termica di tabella 1 e la confronti con quella riportata in tabella; calcoli inoltre la corrispondente portata dell'acqua. Per la determinazione delle portate possono esse utilizzati i dati delle tabelle 6, 7 ed 8, relativi all'acqua e ai prodotti di

combustione (i valori del calore specifico dei prodotti di combustione sono valori medi approssimati).

Per la densità dei prodotti di combustione si assuma il valore approssimato $\rho_f = 1.30 \ \frac{kg}{m^3}$, relativo alle condizioni normali (pressione di 1.013 bar e temperatura di 0 °C); per pressioni e temperature diverse i prodotti di combustione possono essere considerati gas perfetti; per il calcolo della densità dei prodotti di combustione all'uscita dello scambiatore di calore si assuma una pressione pari a quella ambiente.

Per la pressione dell'acqua, il Candidato assuma un valore tale da mantenere lo stato liquido, con un margine di 30 °C rispetto al raggiungimento delle condizioni di saturazione.

TABELLA 6 – PRESSIONE E TEMPERATURA DELL'ACQUA IN CONDIZIONI DI SATURAZIONE

p bar	1	5	10	15	20	25	30	35
T °C	99.63	151.87	179.92	198.33	212.42	223.99	233.89	242.60

TABELLA 7 – ENTALPIA DELL'ACQUA kJ/kg IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA E DELLA PRESSIONE

	10 bar	**15 bar**	**20 bar**	**25 bar**	**30 bar**	**35 bar**
140 °C	589.7	590.0	590.3	590.6	591.0	591.3
150 °C	632.6	632.9	633.3	633.6	633.9	634.2
160 °C	675.9	676.2	676.5	676.8	677.0	677.3
170 °C	719.4	719.7	719.9	720.2	720.5	720.8

TABELLA 8 – CALORE SPECIFICO DEI PRODOTTI DI COMBUSTIONE C_{pf} kJ/(kg °C)

T °C	200	300	400	500
C_{pf} kJ/(kg °C)	1.095	1.120	1.150	1.175

12 E