

POLITECNICO DI TORINO
FACOLTA' DI INGEGNERIA

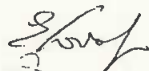
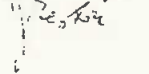
TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA NUCLEARE

" ANALISI ENERGETICHE NEL SETTORE INDUSTRIALE".
IL SETTORE TESSILE IN PIEMONTE, CON PARTICOLARE
RIGUARDO AI PROCESSI DI NOBILITAZIONE

RELATORI:

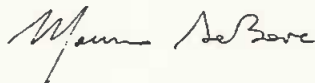
Prof. Evasio LAVAGNO

Prof. Franco TESTORE

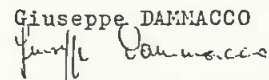



CORRELATORE

Ing. Maurizio DA BOVE



CANDIDATO

Giuseppe DAMMACCO


ANNO ACCADEMICO 1983-1984

Si ringraziano per la disponibilità e collaborazione tutti coloro che hanno fornito dati, documentazione e consigli ed in particolare:

- l'Ing. CRESPI A. e l'Ing. ROMANO A. della "Industria filati tessuti F.lli CRESPI Spa"
- l'Ing. OSELLA R. della "Filatura di Grignasco"
- il Dott. VENIR G. della Camera di Commercio di Torino
- il Dott. RECUPERATI e il Dott. MAINO dell'Istituto Bancario S. Paolo di Torino
- la signora GUZZINATI M.G. della rivista "Selezione tessile"
- il Consorzio Biellese per le fonti energetiche e le ricerche (CIRES).

INDICE

		3.2.2 Recupero di energia termica dagli effluenti liquidi caldi	pag. 100
		3.2.3 La possibilità di cogenerazione	" 109
INTRODUZIONE	pag. 1		
1 GENERALITA' SUL SETTORE TESSILE IN PIEMONTE		4 INNOVAZIONE TECNOLOGICA	
<u>1.1 Dati statistici</u>		<u>4.1 Innovazione tecnologica nei processi produttivi</u>	" 128
1.1.1 Rilevanza strutturale	" 6	4.1.1 Tecniche a Minima Applicazione	" 131
1.1.2 Rilevanza energetica	" 14	4.1.1.1 Tecnologia della schiuma	" 133
<u>1.2 Principali tipi di processo e relativi consumi energetici.</u>	" 32	4.1.1.2 Sistema Triatex-MA	" 141
1.2.1 Formazione delle strutture tessili	" 33	4.1.2 Essiccatoi a radiofrequenza	" 146
1.2.2 I processi di nobilitazione	" 38	<u>4.2 Innovazione sulle macchine</u>	" 148
2 METODOLOGIA PER L'ANALISI ENERGETICA		4.2.1 Econ-Air, Star Jet	" 148
<u>2.1 Analisi di processo</u>	" 52	4.2.2 Nuovo spremitore per maglie tu- bolari	" 152
2.1.1 Esempio di tabelle per l'analisi dei consumi energetici di una azienda.	" 58	5 INTERVENTI ATTUATI IN DUE AZIENDE	
2.1.2 Bilancio di materia e di energia per un essiccatoio.	" 67	<u>5.1 Filati e tessuti F.lli CRESPI Spa</u>	" 158
<u>2.2 Analisi input-output</u>	" 72	<u>5.2 Filatura di Grignasco</u>	" 169
<u>2.3 Analisi statistica</u>	" 76	<u>5.3 Considerazioni conclusive</u>	" 179
2.3.1 Calcolo del contenuto energetico medio del prodotto	" 77	BIBLIOGRAFIA	" 183
3 PROPOSTE DI INTERVENTI DI OTTIMIZZAZIONE DEL CONSUMO ENERGETICO			
<u>3.1 Interventi gestionali</u>	" 80		
3.1.1 Controllo del rendimento di combustione dei generatori di calore	" 81		
<u>3.2 Interventi impiantistici</u>	" 88		
3.2.1 Ottimizzazione e recupero di energia termica in un processo di asciugamento	" 88		

INTRODUZIONE

Nell'ultimo decennio il problema dell'approvvigionamento delle risorse energetiche si è fatto sempre più pressante.

Il grafico in fig.1 illustra l'andamento del prezzo del petrolio e ne dimostra la tendenza al rialzo. L'inversione di tendenza che risulta verificarsi negli ultimi anni, essendo stata bilanciata da un brusco aumento del dollaro sui mercati valutari, ha prodotto effetti positivi solo marginali.

All'aumento del prezzo del petrolio è seguito anche lo aumento dei prezzi delle altre fonti energetiche (energia elettrica, metano, etc.) aggravando ulteriormente la situazione.

Il settore che più di altri risulta sensibile a questo problema è quello industriale per la sua importanza nell'economia nazionale. (fig.2)

Anche per il settore tessile il problema delle risorse energetiche è di primissimo piano, sia per la parte del settore a tecnologia fredda (filatura e tessitura), il cui consumo energetico è prevalente elettrico, sia per la cosiddetta tecnologia calda (processi di nobilitazione, che comprendono tintoria e finissaggio), il cui

consumo è in larga misura termico.

La maggior parte dei consumi energetici del settore tessile (circa i 2/3) è concentrata nelle fasi di nobilitazione in cui il prodotto tessile da rifinire è trattato con diversi processi che utilizzano notevoli quantità di acqua a temperature che raggiungono mediamente i 90 °C, e successivamente viene asciugato in opportune apparecchiature che di solito usano aria riscaldata a temperatura media di 130 °C con punte di 170 °C.

Da uno studio elaborato nel periodo 4/77-6/79 e presentato nel 3/80 dall'INSTITUT TEXTILE DE FRANCE, sul settore tessile francese risulta che la parte di energia utile ad un processo di nobilitazione è meno del 15% e secondo tale studio il diagramma di flusso energetico relativo ad una azienda di nobilitazione si presenta come in fig.3.

Nel diagramma la parte tratteggiata dei singoli flussi energetici è ipotizzata come il potenziale risparmio realizzabile, cioè il 37% (elevabile al 41% riscaldando gli ambienti tramite aria preriscaldata dagli essiccatoi), con un programma d'investimento a medio-lungo termine.

Dal diagramma si nota che le maggiori dispersioni energetiche si hanno nei processi di tintura e asciugamento, ed

a questi verrà posta particolare attenzione durante lo svolgimento dei capitoli successivi.

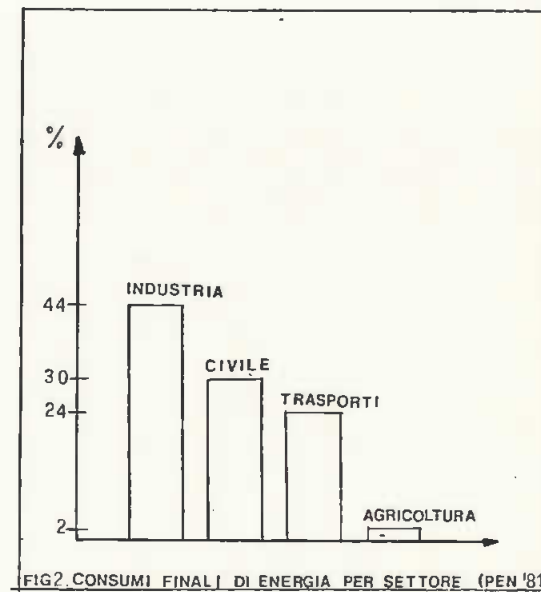
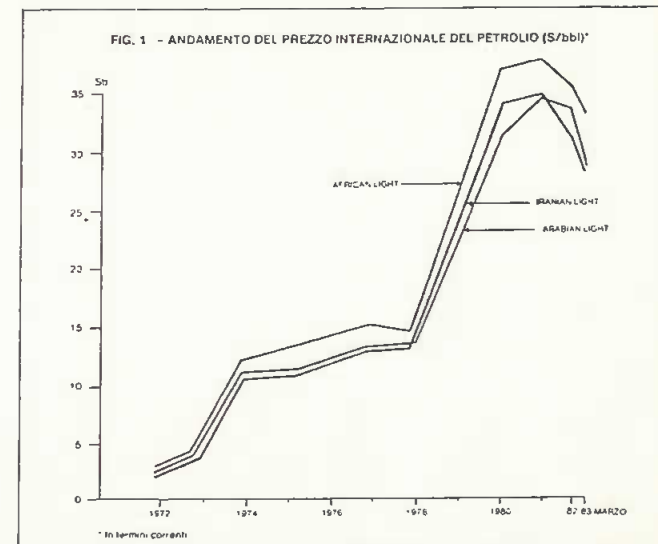
Nel capitolo 1 vengono forniti alcuni dati statistici relativi alla struttura e ai consumi energetici del settore tessile in Piemonte.

Inoltre sono presentati alcuni consumi specifici per 1 kg di prodotto, per i diversi processi dell'intero ciclo produttivo.

Nel capitolo 2 vengono illustrate alcune metodologie di analisi energetiche possibili a diversi livelli (nazionale, regionale, settoriale e aziendale).

Nel capitolo 3 vengono esaminati alcuni processi sotto l'aspetto dei possibili interventi di ottimizzazione e recupero energetico, mentre nel capitolo 4 si parlerà dei diversi interventi innovativi ancora in studio, sia sui processi che sulle macchine.

Nel capitolo 5 viene descritta la situazione energetica di due aziende da me visitate, e vengono esaminati alcuni interventi attuati.



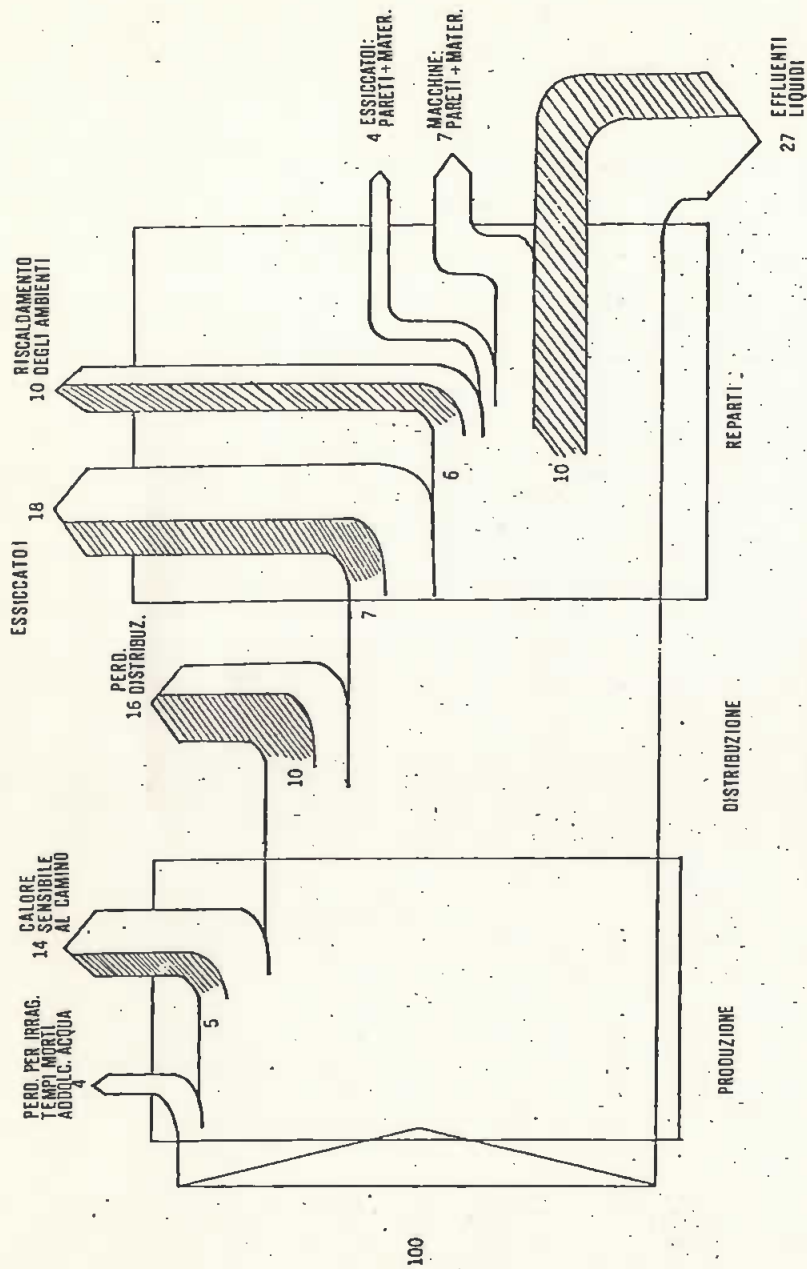


FIG.3 FLUSSO DI ENERGIA IN UNA AZIENDA DI MOBILITAZIONE

1. GENERALITA' SUL SETTORE TESSILE IN PIEMONTE.

In questo capitolo viene presentato il settore tessile piemontese attraverso un insieme di tabelle riguardanti la struttura dello stesso, (paragrafo 1.1.1) e il relativo consumo energetico (paragrafo 1.1.2).

1.1 Dati statistici.

1.1.1. Rilevanza strutturale.

In questo paragrafo sono analizzati alcuni risultati dell'ultimo censimento del 1981 e confrontati con i due censimenti precedenti del 1961 e 1971. I dati riferiti al censimento del 1981 sono ancora provvisori in quanto i dati definitivi non sono stati ancora pubblicati ufficialmente dall'ISTAT.

Dall'analisi dei dati in tabella 1.I risulta che tra il censimento del 1981 e quello del 1971 c'è stato, per l'industria piemontese, un forte aumento delle unità locali (+ 41,9%) e una lieve diminuzione del numero degli addetti (- 2,7%).

Questo potrebbe essere dovuto ad una ristrutturazione organizzativa delle imprese tendente verso una dimensione

più piccola, ma più efficiente.

Nello stesso periodo ('71-'81) il settore tessile ha un incremento delle unità locali pari al 26,7% e una diminuzione degli addetti del - 24,6%.

Le dimensioni medie aziendali, ossia il rapporto fra il numero di addetti totali e il numero di unità locali complessive nel 1971 era di circa 24,6 mentre dal censimento 1981 risulta pari a 14,6.

La dimensione media tende a diminuire quando aumenta il numero delle unità locali con pochi addetti, infatti nel decennio fra i due censimenti si è avuto l'aumento delle unità locali con meno di 100 addetti, mentre le altre classi dimensionali sono diminuite e hanno subito la maggiore parte della diminuzione del personale.

Questo potrebbe mettere in evidenza la ricerca della dimensione ottimale da parte delle imprese del settore tessile che, solo da due anni, è uscito da un lungo periodo di crisi che ha avuto in parte caratteristiche congiunturali e in parte strutturali.

La percentuale degli addetti del settore tessile rispetto all'intero settore industriale risulta in diminuzione; addirittura 8,61% nell' '81 rispetto al 16,96% del '61 e questo dipende anche dal lento processo di automatizza-

zione che è ancora in corso.

Nella tabella 1.II viene presentata la suddivisione percentuale delle unità locali e degli addetti per provincia.

Si può notare l'importanza della provincia di Vercelli che dal '61 all' '81 ha quasi raddoppiato il suo peso percentuale nella regione, mentre è aumentato di circa 14 punti percentuali il numero degli addetti.

Per la provincia di Torino si ha quasi la situazione opposta a quella della provincia di Vercelli, con il dimezzamento della percentuale delle unità locali e la riduzione di circa 14 punti percentuali degli addetti.

Le percentuali della provincia di Novara risultano sostanzialmente stabili, mentre la provincia di Cuneo, pur registrando una forte diminuzione delle percentuali di unità locali, ha un lieve aumento della percentuale degli addetti.

La provincia di Asti concentra sul suo territorio il 25,5% delle unità locali regionali e una bassa percentuale (1,2%) degli addetti.

Per la provincia di Alessandria il settore tessile sembra in recessione, infatti sia la percentuale delle unità locali che la percentuale degli addetti sono sempre in di-

minuzione.

Nella regione Piemonte la provincia più importante del settore tessile risulta Vercelli con il 65% delle unità locali e il 58,8% degli addetti.

In questa provincia si trova il comprensorio di Biella, di cui viene mostrata l'importanza sia a carattere regionale che nazionale.

Nelle tabelle I.III e IV vengono messi in evidenza i due sottosettori maggiormente presenti nel comprensorio. Il sottosettore laniero risulta essere presente per il 67,3% delle unità locali regionali, mentre la percentuale nazionale è di circa 18,2%.

Dal punto di vista occupazionale le percentuali degli addetti salgono rispettivamente a 74,1% e 27,9%.

Il sottosettore del perfezionamento dei tessuti (classificazione ISTAT), contenente tintorie e finissaggi, è presente nell'area biellese con il 60,4% delle unità locali regionali, mentre la percentuale nazionale è di circa 6,4%.

La percentuale regionale degli addetti è di circa 58,9% e quella nazionale del 6,2%.

Tab. 1.1 Unità Locali e Addetti del settore industriale e Tessile in Piemonte	1961		1971		1981	
	UL	ADDETTI	UL	ADDETTI	UL	ADD.
A : TESSILE	3770	131211	3839	94412	4865	71172
B : TOTALE INDUSTRIA (escluso ener., gas, acqua)	57000	773845	58990	849526	87985	826874
$\frac{A}{B} \cdot 100$	6,61	16,96	6,51	11,11	5,53	8,61

(fonte: ISTAT e C.C.I.A.A. piemontesi)

Tab. 1.II Unità locali e addetti in % del settore Tessile in Piemonte per provincia						
	1961		1971		1981	
	%UL	%ADD.	%UL	%ADD.	%UL	%ADD.
TORINO	30,4	33,9	18,9	26,8	14	20,1
VERCELLI	35,6	44,8	55,8	51,8	65,6	58,8
NOVARA	11,9	15,7	11,3	15,7	11,8	14,6
CUNEO	8,2	2,7	5,5	3,3	2,8	3,8
ASTI	5,2	0,3	3,2	0,5	25,5	1,2
ALESSANDRIA	8,7	2,8	5,4	2,6	3,3	1,5

(fonte: ISTAT e C.C.I.A.A. piemontesi)

Tab. 1.III SETTORE : TESSILE						
SOTTOSETTORE : INDUSTRIA DEL PERFEZIONAMENTO DEI TESSILI						
UNITA' LOCALI				ADDETTI		
	N°.	% Reg.le	% Naz.le	N°.	% Reg.le	% Naz.le
ITALIA (ISTAT'81)	1042	-	-	45894	-	-
PIEMONTE (ISTAT'81)	111	-	10,7	4803	-	10,5
BIELLA (1980) (TIMTORIE E FINISSAGGI)	67	60,4	6,4	2830	58,9	6,2

(fonte: CIREB)

	SETTORE : TESSILE					
	SOTTOSETTORE : INDUSTRIA LANIERA (escluso UL con meno di 10 Addetti)					
	UNITA' LOCALI			ADDETTI		
	N°.	% Reg.le	% Naz.le	N°.	% Reg.le	% Naz.le
ITALIA (ISTAT '81)	1814	-	-	78492	-	-
PIEMONTE (ISTAT '81)	490	-	27,0	27329	-	37,7
BIELLA (UL '80)	330	67,3	18,2	20240	74,1	27,9

(fonte: CIREB)

1.1.2 Rilevanza energetica.

In questo paragrafo vengono presentati alcuni dati circa il consumo energetico del settore tessile in Piemonte, con riferimento in alcuni casi al consumo totale dell'industria manifatturiera italiana.

Nella tabella 1.V viene messa in evidenza la composizione del consumo finale di energia dell'intero settore tessile italiano e se ne ricava la percentuale sul consumo totale del settore industriale.

Nel quinquennio esaminato si può notare che la percentuale del settore tessile risulta quasi stabile intorno al 6% con una tendenza al ribasso negli anni '77 e '78 in cui, come si può vedere dalla figura 1.1, la produzione ha una diminuzione maggiore della media stagionale. Sarebbe stato interessante confrontare l'analoga situazione che si è verificata tra gli anni '81 e '82, ma purtroppo questo non è stato possibile in quanto i dati relativi al consumo energetico sono disponibili solo fino all'anno 1980.

Nella tabella 1.VI sono illustrate le distribuzioni percentuali dei consumi finali di energia. Si può notare che il maggior consumo è attribuibile all'olio combustibile

le, che ha subito nel quinquennio una diminuzione del suo peso percentuale del - 15,16%, mentre per l'energia elettrica si ha un incremento del 25,81%. Gli altri combustibili e in particolar modo il gas risultano quasi stabili con una tendenza all'aumento del consumo di gasolio.

Un'ipotesi che si potrebbe avanzare è che una parte della diminuzione del consumo di olio combustibile possa essere una conseguenza di interventi di risparmio energetico effettuati, dal momento che l'aumento del consumo di energia elettrica evidenzia una certa stabilità della produzione. Infatti la prima e principale fase di lavorazione del ciclo produttivo ha un consumo energetico prevalentemente elettrico.

Nella tabella 1.VII sono riportati i consumi di metano negli anni dal '76 all''81 per i diversi gruppi o sottosettori tessili. Fra questi la maggiore variazione di consumo è registrata dal sottosettore lana che dal '76 all''81 ha subito una riduzione del - 33,8%. Purtroppo non è possibile verificare se a tale diminuzione è seguito un aumento analogo di un'altra fonte energetica, non essendo disponibili i dati di consumo delle altre fonti energetiche con la stessa disaggregazione del metano. Per gli altri settori, di cui il cotone è il maggior con-

sumatore di metano con una percentuale mediamente del 50% sul totale, le variazioni di consumo non sono sensibili.

Per il settore tessile della regione Piemonte non è possibile seguire la stessa esposizione fatta per il settore tessile italiano, perchè non esistono pubblicazioni ufficiali in cui vengano raccolti i dati relativi al consumo energetico regionale.

L'unico consumo energetico regionale disponibile dalle pubblicazioni ISTAT è il consumo di energia elettrica illustrato in tabella 1.VIII in cui è anche fornita la relativa percentuale rispetto al consumo totale regionale. Si può notare che nel periodo 1976-1982 tale percentuale risulta sostanzialmente costante con una leggera tendenza all'aumento.

In uno studio effettuato dall'Istituto di Economia delle Fonti di Energia (IEFE) è stato elaborato il bilancio energetico della regione Piemonte per l'anno 1978.

Il campione di aziende scelte per l'elaborazione dei dati conteneva 348 aziende, che nell'anno 1978 hanno consumato circa il 40% dei consumi energetici del Piemonte, e questo dimostra la rilevanza dei consumi su cui è stata fatta l'indagine.

Le aziende tessili presenti nel campione erano 42, e rappresentavano tutti i gruppi del settore e nell'anno 1978 avevano avuto un consumo energetico pari al 6,68% dei consumi totali del campione.

L'indice di rappresentazione pari a 0,71, ottenuto dal rapporto tra la percentuale degli addetti del settore tessile dell'intero campione e la percentuale degli addetti dell'ultimo censimento (1971) sempre dello stesso settore, mette in rilievo una leggera sottorappresentazione. Nell'indagine svolta, la scelta dell'addetto come unità di misura, è stata fatta sia perchè era un dato noto con sufficiente certezza, sia perchè è stato ritenuto estrapolabile il consumo energetico per addetto del campione a tutto il relativo settore.

Sono state distinte tre categorie di settori industriali (ad alta, a media e a bassa intensità di energia rispetto al fattore lavoro) a seconda che il consumo annuo per addetto fosse compreso nella fascia di $\pm 1/3$ rispetto al valore medio (media intensità), o uscisse in eccesso (alta intensità) o uscisse per difetto (bassa intensità).

L'industria tessile dall'indagine campione risultava appartenere ai settori a media intensità, mentre nel riproporzionamento in base al peso dei gruppi formanti il cam

pione il consumo annuo per addetto risultava ridimensionato di circa -29%. Tale differenza è dovuta ad una sovrarappresentazione nel campione dei gruppi delle fibre artificiali e della lana, quest'ultimo sicuramente il più importante nella regione.

In tabella 1.IX sono messi a confronto i risultati del bilancio energetico regionale con altri studi effettuati e si può notare come vi siano notevoli differenze, dovute secondo gli autori del bilancio più alla differente composizione settoriale che a fattori quali la diversità geografica o temporale, oltre che alla non perfetta omogeneità dei dati occupazionali.

Infatti all'interno di ogni settore vi possono essere delle differenze a seconda del tipo di prodotto o di lavorazione adottato dall'unità produttiva; questo è molto vero per il settore tessile, date le caratteristiche diverse che può avere un prodotto tessile.

Nelle tabelle 1.X e 1.XI sono illustrati i risultati relativi al settore tessile del bilancio energetico regionale redatto da Politecnico di Torino e Regione Piemonte su un campione molto più ampio di aziende.

La percentuale media del consumo energetico del settore tessile, pesata sul numero di unità locali, risulta pa-

ri al 7,68% del consumo totale delle industrie manifatturiere.

Gli anni dal 1977-1979, a cui si riferiscono i dati disaggregati per gruppo, evidenziano il differente consumo energetico per addetto all'interno dello stesso settore a seconda del tipo di prodotto.

In questi tre anni il consumo energetico per addetto risulta mediamente paragonabile ai risultati ottenuti dal bilancio energetico regionale dello IEFER e dall'elaborazione in base ai dati del bollettino del Ministero della Industria, tranne che per l'anno 1978 in cui c'è stato un forte incremento di consumo dei combustibili solidi e dei derivati di petrolio, nonostante una diminuzione del consumo di energia elettrica.

Il più alto consumo energetico per addetto è registrato nel gruppo della seta a causa delle particolari lavorazioni che sono eseguite su questa fibra naturale, ma le unità produttive di questo gruppo presenti nella regione consumano mediamente circa il 7% del consumo energetico totale del settore tessile.

Il maggiore consumo (mediamente il 60%) è attribuibile al gruppo-lana, di cui è già stata messa in evidenza la importanza in Piemonte, che presenta un'indice fortemen-

te variabile nei tre anni esaminati.

Per gli altri gruppi, di cui il cotoniero è sicuramente il più importante, gli indici di consumo risultano variabili intorno al valore medio.

In tabella 1.XII sono illustrati i consumi energetici per addetto di un campione di 33 unità produttive della area Biellese per il gruppo laniero, e di 20 unità per il gruppo di perfezionamento dei tessili (tintoria e finissaggio, nuovo settore del tessile classificato nell'ultimo censimento del 1981).

Non è possibile operare un confronto con gli indici precedenti in quanto il campione di unità produttiva è stato scelto con obiettivi differenti da quelli usati nell'analisi precedente.

In questa tabella viene messa in evidenza la sensibile differenza del consumo per addetto in due diverse operazioni sullo stesso prodotto.

Infatti, mentre nel gruppo laniero si può ritenere predominante la prima fase di lavorazione del prodotto tessile (filatura e tessitura), nel secondo gruppo risulta determinante la seconda fase di lavorazione, ossia i processi di tintura e finissaggio, che richiedono notevoli quantità di energia termica a livelli di temperatura (mediamente <100°C, trasferita di solito con fluido intermedio

(vapore, acqua surriscaldata e olio diatermico) come si può vedere dalla tabella 1.XIII.

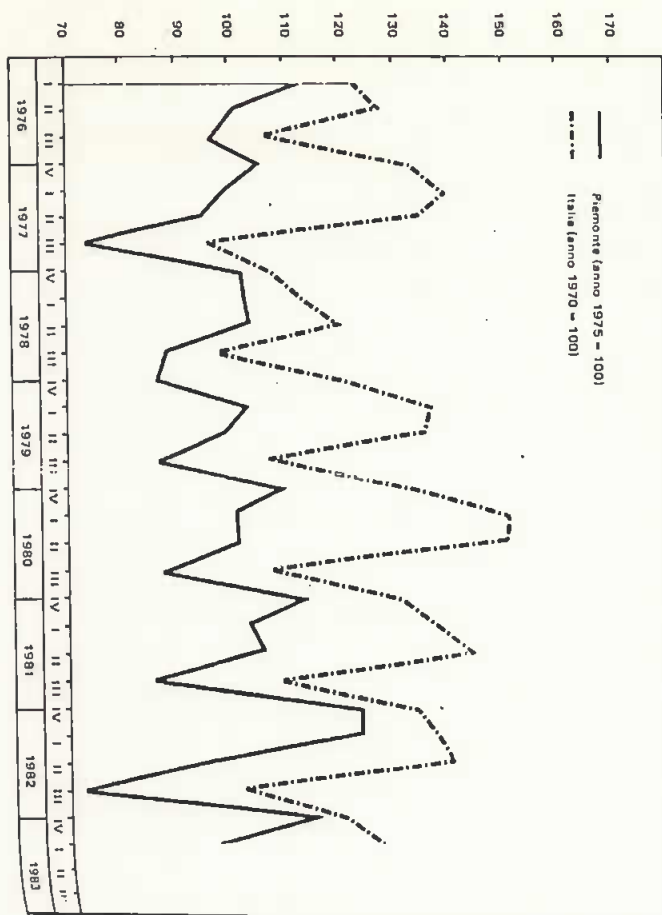
In questa sono messi in evidenza i consumi energetici per addetto a seconda dell'uso finale dell'energia. Si può notare che una quota di energia viene utilizzata per la climatizzazione degli ambienti, necessaria nei processi di filatura e tessitura.

Tab. 1.V CONSUMI FINALI DI ENERGIA DEL SETTORE TESSILE IN ITALIA (10³ TEP)

ANNO	CONSUMI SOLIDI COMB.	GAS NATURALE	GAS LIQUEFATTI	GASOLIO	OLIO COMB.	ENERGIA ELETRICA	TOTALE
1976 : V.A.	1,4	454,6	16,5	76,5	1337,7	622,0	2508
%	0,4	4,8	4,3	9,1	8,7	8,5	6,3
1977 : V.A.	-	448,8	17,6	81,6	1002,4	620,1	2178
%	-	4,7	4,5	9,0	4,9	8,3	5,5
1978 : V.A.	-	434,0	16,5	71,4	823,2	634,9	1980
%	-	4,6	4,3	8,4	6,2	8,3	5,2
1979 : V.A.	0,7	437,3	14,3	102,0	1080,0	741,1	2375
%	0,2	4,7	3,4	10,7	7,5	9,3	6,1
1980 : V.A.	-	405,1	19,8	102,0	1038,8	731,6	2287
%	-	4,4	5,2	12,4	7,7	9,1	6,1

(fonte: ISTAT, Annuari di statistiche industriali dal 1977 al 1982)

Fig. 1.1 - Andamento dell'industria tessile.



(fonte: C.C.I.A.A. piemontesi)

Tab.1.VI SETTORE TESSILE IN ITALIA. CONSUMI FINALI DI ENERGIA VALORI PERCENTUALI (%)

CONSUMI	Carbone fossile	Gas Naturale	Gas Liquefatti	Gasolio	Olio Combust.	En. Elettrica	Totale
ANNO							
1976	0,06	18,3	0,6	3,0	53,34	24,8	100
1977	-	20,6	0,8	3,75	46,3	28,4	100
1978	-	21,9	0,8	3,6	41,58	32,0	100
1979	0,03	18,4	0,6	4,3	42,4	31,2	100
1980	-	17,64	0,8	4,4	45,2	31,8	100

(fonte: ISTAT, Annuari di statistiche industriali 1977-1982)

Tab. 1.VII CONSUMO DI METANO IN ITALIA DEL SETTORE TESSILE (10^3 m^3)

ANNO	1976	1977	1978	1979	1980	1981
GRUPPO						
SETA	83425	84315	88363	94501	89800	79927
COTONE	284587	279754	283094	298414	295546	274928
LANA	105890	110867	103520	100684	78782	70060
FIBRE TESSILI ARTIFICIALI e SINTETICHE	55559	45265	52948	55976	52002	49358
CANAPA, LINO, JUTA e SIMILI	9263	9083	9348	9846	9995	9963
TESSILI VARIE	15217	15567	16444	16874	16675	17124
TOTALE	553921	544851	553717	576295	542800	501360

(fonte: ISTAT, Annuari di statistiche industriali 1981-82)

Tab. 1.VIII Consumo di energia elettrica per il settore tessile in Piemonte (10^6 kWh)

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
A: Tessile	894	883	896	993	976	985	967
B: Totale industrie Manufat.	10323	10473	10604	11073	10630	10098	10501
$\frac{A}{B} \cdot 100$	8,66	8,43	8,45	8,97	9,18	9,75	9,21

(fonti: ISTAT, Annuari statistiche industriali 1977-1982)

Tab. 1.II Consumi annui di energia per addetto (TEP/Anno)

Settore	Campione (1)	Bil. en. piem. (2)	Bil. en. it. (3)	Indag. Federl. (4)	Boll. Minind. (5)	Waes (6)
Alimentare	4,4	4,5	5,9	9,6	10,7	6,4
Tessile	6,1	4,3	2,0	8,5	5,2	2,4
Abbigliamento	1,6	0,9	-	3,3	0,8	-
Pelli e cuoio	7,8	-	-	6,5	3,4	-
Legno	3,0	-	-	-	2,0	-
Metallurgia					55,1	
- Siderurgia	19,6	21,0	39,6	28,6		30,0
- Met. non ferrosi	5,5	5,8	4,0	17,7		21,0
Meccanica	3,8			3,7*	3,2	2,1
- Fonderie	13,3	3,2	2,8	6,1	-	-
Costr. Mezzi trasporto	3,8			3,2	3,7	2,7
Lav. min. non metalliferi	27,7	20,8	23,9	32,9	25,2	23,3
Chimica	32,4**	14,1**	37,2**	14,5**	84,8	60,4
Petrolio e carbone	232,4	-	-	170,5	658,8	-
Gomma	6,5	-	-	5,3	3,8	-
Cellulosa	14,9	-	-	45,8	17,6	-
Carta	28,5	18,7	19,3	34,3	35,7	6,8
Materia plastiche	5,5	-	-	-	4,8	-

Note:

* Escluse le fonderie

** Esclusi gli usi non energetici (ma inclusa la cellulosa nei bilanci energetici).

Fonti:

(1) Vedi tab. 3.2

(2) Vedi Cap. 5

(3) Ministero dell'Industria

(4) Federlombarda. Indagine sulla crisi energetica. Milano, dic. 1979

(5) Elaborazione in base ai dati del Bollettino statistico del Ministero dell'Industria per il 1973. ripresa da G. Giorgetti: "Programma energetico e politica dei consumi industriali". in AA.VV. Una strategia per lo sviluppo energetico italiano. F. Angeli, Milano, 1977

(6) AA.VV. Il rapporto Waes Italia. F. Angeli, Milano, 1979.

(fonte: AMMAN, BIL.EN.PIEM. 1978)

Tab. 1.X

DATI REGIONALI PER SETTORE TESSILE	CITTA' LOCALI	OGGETTI LOCALI	SOLIDI (TEP)	DERIVATI PETROLIO (TEP)	GAS NATURALE (TEP)	ENERGIA ELETTR. (TEP)	ENERGIA TOTALE (TEP)	ENERGIA PER ADDETTO (TEP)	PERCENT. TOT.
ANNO 1977	796	65871	132	174159	42297	89659	266242	4,35	7,31
ANNO 1978	386	50137	1300	262963	39550	54486	358307	7,15	9,35
ANNO 1979	307	51372	1075	153157	40676	61215	256573	4,99	6,86
DATI REGIONALI 1977									
GRUPPI:									
LAIRA	426	30082	8	122301	11923	36793	171025	5,54	
COTONE	144	16682	99	27045	10820	22571	60535	3,59	
SETA	7	1110	-	3549	15198	2329	21076	18,99	
CAFFA, LINO E LITA	16	500	-	520	12	269	801	1,60	
LAVORAZIONE FINE CHIAMONE	29	1581	-	2966	3061	3163	9160	5,81	
MACCHIE, CALZE E TESSILI VARI	174	14916	25	17788	1283	4529	23615	1,58	

(fonte: LAVAGNO, BIL.EN.REG. 1977-1979)

Tab. 1.XI

DATI REGIONALI 1978	UNITA' LOCALI	ADDETTI	SOLIDI (TEP)	DERIVATI PETROLIO (TEP)	GAS NATURALE (TEP)	ENERGIA ELETTR. (TEP)	TOTALE (TEP)	ENERGIA PER ADDET (TEP)
GRUPPO:								
LANA	154	22336	5	210092	11349	26390	249836	10,94
COTONE	67	11731	4	20872	8878	16909	46663	3,99
SETA	4	1105	194	4015	13318	2147	19674	17,00
CANAPA, LINO E JUTA	2	131	-	62	-	129	191	1,46
LAVORAZIONE FIERE CHIMICHE	12	1246	-	1333	4193	3215	8741	7,02
MAGLIE, CALZE E TESSILI VARI	67	13118	1097	26589	1820	3696	33202	2,53

DATI REGIONALI 1979

GRUPPO:								
Lana	154	23769	1027	102148	10723	31420	145318	6,11
COTONE	67	11599	9	22249	9245	18799	50352	4,34
SETA	4	1164	-	5688	15006	2522	23216	19,95
CANAPA, LINO E JUTA	3	419	-	409	-	289	698	1,67
LAVORAZIONE FIERE CHIMICHE	9	1601	-	1168	3953	3546	8667	5,41
MAGLIE, CALZE E TESSILI VARI	70	12620	39	21495	1899	4639	28072	2,19

(fonte: LAVAGNO, BIL.EN.REG.1977-1979)

Tab. 1.XII CARATTERISTICHE ENERGETICHE DI UN CAMPIONE CIREB DELL'AREA BIELLESE

	N° UL	ADDETTI	CONSUMI	CONSUMI	CONSUMI	CONSUMI PER ADDETTO		
			TOTALI (G cal)	ELETTRICI (MWH)	TERMICI (T.O.C.)	TOTALE (Mcal/Add)	ELETTR. (MWh/Add)	TERMICI (TOC/Add)
IND. LANIERA	33	8020	339,4	98432	26309	56,4	16,3	4,4
IND. PERFEZIONAMENTO DEI TESSILI	20	1085	213,3	18987	20307	197	17,5	18,7

(fonte: CIREB)

Tab. 1.XIII

Consumo annuo di energia per addetto, per settore e per tipo di uso finale (kg. e.p./add)

Settore	Tipo di uso finale							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alimentari	662,8	1947,9	951,1	0,2	789,6	18,4	31,1	4401,0
Tessili	1143,0	3650,3	177,3	0	1064,0	34,2	76,0	6144,7
Vestilario	167,4	714,1	56,8	0,5	587,6	9,7	34,5	1570,6
Pelli e cuoio*	1001,7	4959,1	1,8	0	1817,4	0	34,0	7813,9
Legno*	308,8	1461,2	79,3	0	1091,0	0	15,9	2956,2
Siderurgia	2906,0	1493,6	1010,8	3511,9	1497,3	0	142,0	19652,6
Met. non ferr.*	1986,1	270,7	4146,9	1481,8	1498,1	0	69,6	9453,2
Meccanica	656,9	266,5	1369,4	111,9	1297,5	22,0	54,4	3778,5
Costr. mezzi trasporto	714,4	898,6	395,1	37,3	1635,8	3,9	83,3	3768,3
Minerali non metall.	3170,2	2557,7	21356,7	0	507,5	44,6	70,1	27706,8
Chimica	4238,0	16939,5	6532,2	3196,4	1344,6	5,6	100,3	32456,5
Gomma	1249,5	3458,7	466,8	2,7	1243,1	3,7	81,5	6506,0
Cellulosa*	3336,9	8086,7	684,3	0	2588,7	0	177,3	14874,0
Carta	6364,5	20112,6	332,5	0	1579,1	0	94,4	28483,2
Materie plastiche	1180,7	2481,4	377,3	6,9	1400,0	5,2	55,5	5507,0
Varie*	370,7	318,8	7,4	8,0	848,6	12,4	37,4	1603,2
Media del camp.	1212,8	2276,6	2014,0	315,1	1369,3	12,1	75,7	7311,5

Note:

Numero di riferimento al raggruppamento dei tipi di uso finale:

- 1 Energia meccanica
- 2 Energia termica - processo con fluido intermedio
- 3 Energia termica - riscaldamento diretto
- 4 Usi elettrici vincolati
- 5 Riscaldamento
- 6 Climatizzazione
- 7 Illuminazione
- 8 Totale

* I valori indicati per questo settore vanno considerati come indicativi ed usati perciò con cautela in quanto sono frutto di elaborazione su un numero molto ridotto di unità produttive.

(fonte: ALMAN, BIL.EN.PIEI. 1978)

1.2 Principali tipi di processo e relativi consumi energetici.

Il ciclo di lavorazione dell'industria tessile può essere suddiviso in due fasi principali:

- Formazione delle strutture tessili
- Nobilitazione.

A loro volta queste fasi possono essere suddivise ancora in diverse operazioni.*

La formazione delle strutture tessili avviene attraverso le seguenti operazioni:

- Processo di filatura
- Processo di tessitura.

La nobilitazione prevede le seguenti operazioni sulla fibra, sul filato e sui tessuti:

- Processo di tintura e/o stampa
- Processo di finissaggio.

Nelle pagine seguenti viene data una breve descrizione di ognuna di queste operazioni con i relativi consumi energetici per unità di prodotto.

1.2.1 Formazione delle strutture tessili.

Per formazione delle strutture tessili si intende l'insieme delle operazioni che, partendo dalle materie prime (fibre tessili), permettono di ottenere il filato da cui, attraverso opportune lavorazioni, si può ricavare il tesuto.

Durante il processo di filatura le fibre tessili, che inizialmente erano ammassate in modo disordinato (fiocco), vengono trasformate in una struttura ordinata e filiforme (filato) in cui le fibre sono più o meno orientate secondo un asse comune e trattenute insieme mediante torsione. Il principale elemento di distinzione tra le fibre è la forma ed in particolare modo la lunghezza, che comporta due fondamentali sistemi di lavorazione, per fibre corte (taglio cotoniero) e per fibre lunghe (taglio laniero), esclusi alcuni casi particolari.

Il processo di filatura (sia per il taglio laniero che cotoniero) prevede le seguenti funzioni:

- eliminazione delle impurezze, nel caso di fibre naturali (Apritura)
- rimescolatura delle fibre (Mischia)

Queste operazioni vengono eseguite all'inizio del ciclo,

sono diverse a seconda dello stato di presentazione della fibra greggia e sono perfezionate durante le fasi successive che sono:

- separazione delle fibre (Cardatura)
- ordinamento delle fibre (ad eccezione dei filati cardati). Le fibre vengono disposte parallelamente ad un asse comune e classificate a seconda della loro lunghezza, con separazione delle fibre più corte (Pettinatura).
- affinamento e regolarizzazione delle fibre nella struttura filiforme (Stiro).
- consolidamento della struttura mediante torsione (Filatura propriamente detta).

Il prodotto della filatura (filato) può essere di diverse dimensioni.

La grandezza che caratterizza un filato è il titolo che esprime la massa per unità di lunghezza.

L'unità di titolo è il tex (Tt), pari per definizione alla massa in grammi di 1000 m di filato.

Nella tabella 1.XIV sono riportati i consumi energetici in rapporto alla produzione di alcune filature italiane nell'anno 1974 e nel primo semestre del 1975.

Nella successiva tabella 1.XV si riportano alcuni dati

relativi agli anni 1976-1982 circa il consumo energetico per unità di prodotto e gli indici dell'incidenza energetica per unità di prodotto e per addetti relativi a 10 unità produttive di filature pettinate dell'area laniera Biellese.

In un'azienda di filatura i vari macchinari necessari per il processo sono alimentati con energia elettrica.

L'energia termica è utilizzata nella filatura cotoniera solo per il riscaldamento ambientale ed è pari a circa il 10-20% del consumo energetico totale.

Nella filatura laniera invece l'energia termica viene utilizzata per la fase di lavaggio della lana sucida, che precede la fase di cardatura e pettinatura.

Risulta quindi che nella filatura laniera la percentuale di energia termica utilizzata sarà maggiore (20-30%). Dalle tabelle si nota che il consumo di energia elettrica per unità di prodotto è comunque maggiore del relativo consumo termico.

Il processo di tessitura è un insieme di operazioni che portano alla formazione di una struttura detta tessuto.

Il tessuto è profondamente diverso a seconda della tecnologia usata, e tra i più importanti si ricordano:

- tessuto tradizionale (a due fili, trama e ordito)
- tessuto a maglia rettilineo o circolare (un unico filo)
- tessuto non tessuto (tipo il feltro).

Le fasi che compongono il processo di tessitura sono:

- preparazione dei filati composta da diverse operazioni di cui le più interessanti, dal punto di vista energetico, sono la imbozzimatura in soluzione acquosa dell'ordito, che rende più resistenti alla usura i fili che verranno sottoposti alle sollecitazioni meccaniche del telaio, e la successiva fase di asciugatura.
- tessitura propriamente detta.

Il consumo energetico di una unità produttiva di tessuto risulta composto da una quota di energia termica e da una quota di energia elettrica che comprende anche l'energia utilizzata dagli impianti di climatizzazione e aspirazione, utili per un buon risultato della lavorazione.

Si riportano in tabella 1.XVI i consumi riferiti a 1 kg di prodotto effettuati nell'anno 1974 e primo semestre 1975 da alcune aziende italiane.

I macchinari utili al processo di tessitura sono alimen-

tati con energia elettrica, ad eccezione dei macchinari per l'imbozzimatura e l'asciugatura, che utilizzano anche l'energia termica.

Dalla tabella risulta che il consumo di energia per kg di prodotto nella tessitura, nel caso dell'industria cotoniera, è superiore ai consumi elettrici e termici del processo di filatura, mentre nel caso della industria laniera il consumo termico è maggiore e il consumo elettrico è inferiore a quello della filatura.

Il consumo prevalente, anche in questo processo, rimane quello dell'energia elettrica.

1.2.2 I processi di nobilitazione.

Per processo di nobilitazione si intende l'insieme di operazioni che si eseguono sui filati e tessuti allo scopo di dare loro le proprietà richieste ad un filato o stoffa a secondo del loro uso.

I processi più importanti sono la tintura e/o stampa e il finissaggio.

Il processo di tintura e/o stampa prevede le seguenti fasi di lavorazione:

- preparazione o pretrattamento in cui si eseguono la purga (eliminazione totale delle impurezze ancora presenti) e il candeggio e lavaggio delle materie tessili; nel caso di tessuto si esegue anche la sbazzimatura.
- tintura propriamente detta, in cui il materiale tessile è sommerso in una soluzione acquosa di una sostanza colorante di natura tale da venire assorbita dal materiale.
Stampa, che avviene con l'applicazione diretta sul tessuto della pasta da stampa.
- lavaggio dopo tintura e/o stampa.

Tra i diversi procedimenti di tintura si descrivono brevemente i più importanti.

- Procedimento di tintura per esaurimento, che si distingue in procedimenti per coloranti con massimo di affinità a 100°C che permettono di operare con bagni a temperature intorno ai 40°C, e procedimento per coloranti con massimo di affinità inferiore ai 100°C con i quali è necessario, dopo una prima ebollizione del bagno, operare a temperature tra i 60-70°C.

Il rapporto bagno, ossia la quantità di bagno espressa in litri necessaria per 1 kg di prodotto, è compreso tra 20-30 l/kg per la tintura in vasche aperte (primo caso) e tra 5-10 l/kg per tintura in apparecchi (secondo caso).

- Procedimento di tintura per impregnazione e successivo fissaggio.

Il tessuto viene impregnato con un volume ridotto di bagno contenente il colorante e successivamente sottoposto all'operazione di asciugamento durante la quale il colorante si fissa.

La temperatura dipende dall'intensità del colore da raggiungere e varia tra i 30°C-85°C.

Le apparecchiature più usate in cui si effettua l'impregnazione sono il Jigger e il Foulard.

Nel primo si effettua la tintura discontinua in largo dei tessuti di cotone e misti. Il tessuto che arriva avvolto su di un rullo viene fatto passare in una vasca contenente il bagno di tintura e riavvolto su un altro rullo. Questa operazione viene ripetuta in senso inverso fino anche a trenta avvolgimenti e riavvolgimenti.

Il Foulard è un apparecchio utilizzato per il procedimento di tintura dei tessuti in semicontinuo e continuo. Il tessuto passa una sola volta nella vasca e successivamente viene spremuto fra cilindri, e in seguito può entrare in altre apparecchiature per continuare il ciclo di lavorazione (fissaggio).

- Procedimento di Pad Roll (fissaggio in rotolo a caldo).

Il tessuto passa attraverso un Foulard per essere impregnato di bagno a bassa temperatura in un arco di tempo sufficiente a promuovere la diffusione del colorante nel substrato del materiale tessile.

Per rendere uguale l'effetto del colore il tessuto passa in una camera dove è arrotolato su un cilindro che ruota lentamente. In questa ca

mera la temperatura è mantenuta al di sopra di 90 °C per tutto il tempo occorrente alla penetrazione della tinta, che varia dalle 2 alle 3 ore a seconda del colorante usato e del tipo di tessuto.

- Procedimento Pad Batch (fissaggio in rotolo a freddo).
In questo caso il tessuto arrotolato viene fatto ruotare lentamente a temperature di 25 °C per circa 24 ore.
- Procedimento Pad Steam (impregnazione e vaporizzazione).
Il tessuto, dopo essere stato impregnato attraverso il Foulard con la soluzione di colorante passa in un vaporizzatore dove avviene il fissaggio del colore a temperatura di circa 105 °C in atmosfera di vapore saturo in assenza di aria.

Il tempo necessario alla fissazione in questo caso è compreso tra 1 e 5 minuti a seconda dell'intensità della tintura, e potrebbe essere ulteriormente ridotto aumentando la temperatura del vapore fino a 120÷130 °C.

Da queste brevi descrizioni emerge che più lungo è il tempo del procedimento di tintura meno si consuma energia, e questo, se da un lato potrebbe essere un beneficio, dall'altro risulta molto penalizzante per la produzione.

In tabella 1.XVII si riportano i dati annuali, 1976-

1982, di consumo energetico medio riferito a 1 kg di prodotto e gli indici dell'incidenza energetica riferiti a 1 kg di prodotto e per addetto di un gruppo di tintorie di filati dell'area Biellese.

Dalla tabella 1.XVII si può notare come i consumi di energia termica siano notevolmente superiori in questa fase rispetto alle precedenti di filatura e tessitura (500% circa). Infatti l'energia termica è necessaria per il riscaldamento dei bagni di processo (pretrattamento, tintura e/o stampa) e delle acque di lavaggio, nonché per l'asciugatura dei manufatti.

I notevoli consumi di energia termica che si hanno durante i processi di tintoria rendono interessante lo studio delle possibilità di ridurre i consumi energetici, sia attraverso l'ottimizzazione che l'innovazione dei processi stessi.

Risulta inoltre utile fissare l'attenzione sulla possibilità di recuperare calore dagli scarichi d'acqua e dai bagni di tintura.

Questi argomenti verranno trattati nei capitoli 3 e 4 con l'esposizione di alcuni esempi.

Il processo di finissaggio può essere considerato l'insieme delle operazioni che danno al filato e tessuto lo

aspetto desiderato e le proprietà richieste a secondo dell'uso a cui sono destinati.

Le fasi più importanti di un processo di finissaggio sono:

- distribuzione uniforme del prodotto di finissaggio tramite soluzioni acquose, spruzzatura, schiuma o rullo dosatore (queste ultime due sono innovazioni del processo di cui si parlerà nel capitolo 4).

- asciugatura e termofissaggio del prodotto.

La distribuzione uniforme del prodotto in soluzione può essere effettuata con macchina Jigger e Foulard.

L'asciugatura dei tessuti è effettuata in continuo per mezzo di grandi Rameuse.

La temperatura dell'aria nella fase di asciugatura arriva a circa 120°C mentre durante il termofissaggio si raggiungono temperature fino a 200°C.

Temperature così elevate richiamano l'attenzione sul contenimento del consumo energetico.

Si parlerà di questo nel paragrafo 3.2.1 in cui viene data una breve descrizione degli essiccatoi.

Nella tabella 1.XVIII sono riportati i dati relativi al consumo energetico per il finissaggio di filati rife-

rito a 1 kg di prodotto effettuati nell'anno 1974 e primo semestre 1975 da alcune aziende italiane.

Nella tabella 1.XIX vengono forniti alcuni dati relativi ad un campione di 9 unità produttive per il finissaggio dei tessuti dell'area Biellese.

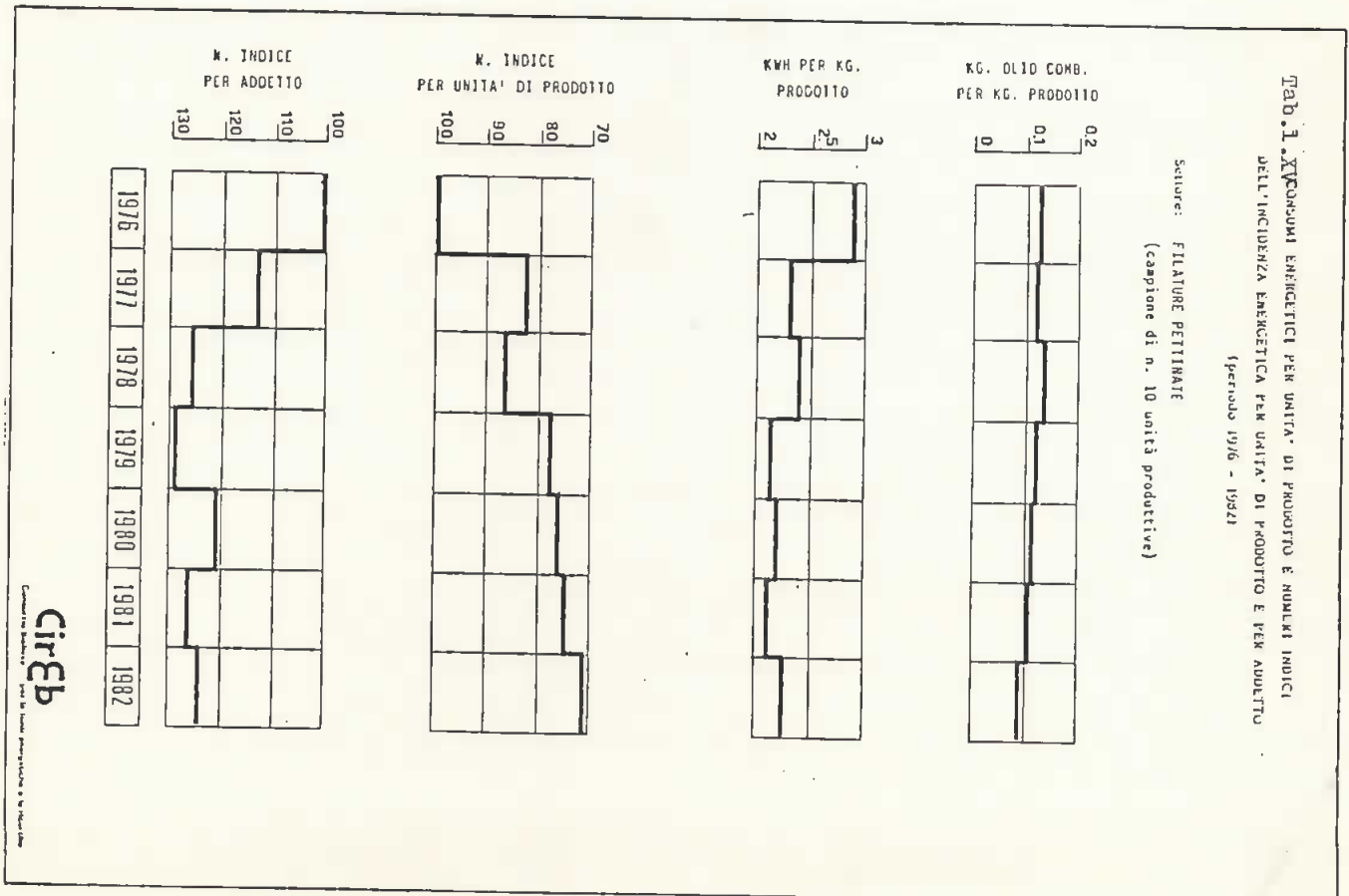
Nella tabella 1.XX vengono presentati i risultati relativi a 16 unità produttive a ciclo completo dell'area Biellese.

Tab. 1. XIV

FILATURE	ENERGIA elet. kWh/kg	Olio comb. kg olio/kg
Industria cotoniera		
- preparazione e filatura (titolo medio 24 T _l)	2,5	0,185
Industria laniera		
- filatura greggio (titolo medio 30 T _l)	2,25	0,286

Da: Bollettino statistico sulle fonti di energia e produzione industriale. Roma MIN.IND. C.A.

- 45 -



- 46 -

Tabella 1. KVI

TESSITURA	ENERGIA EL. kWh/kg	Olio Comb. kg olio/kg
Cotoniera	3,6	0,323
Laniera	1,37	0,347
Seriea	4,09	0,640

Da: Bollettino Statistico sulle fonti di energia e sulla
Produzione industriale. Roma - M.I.C.A.

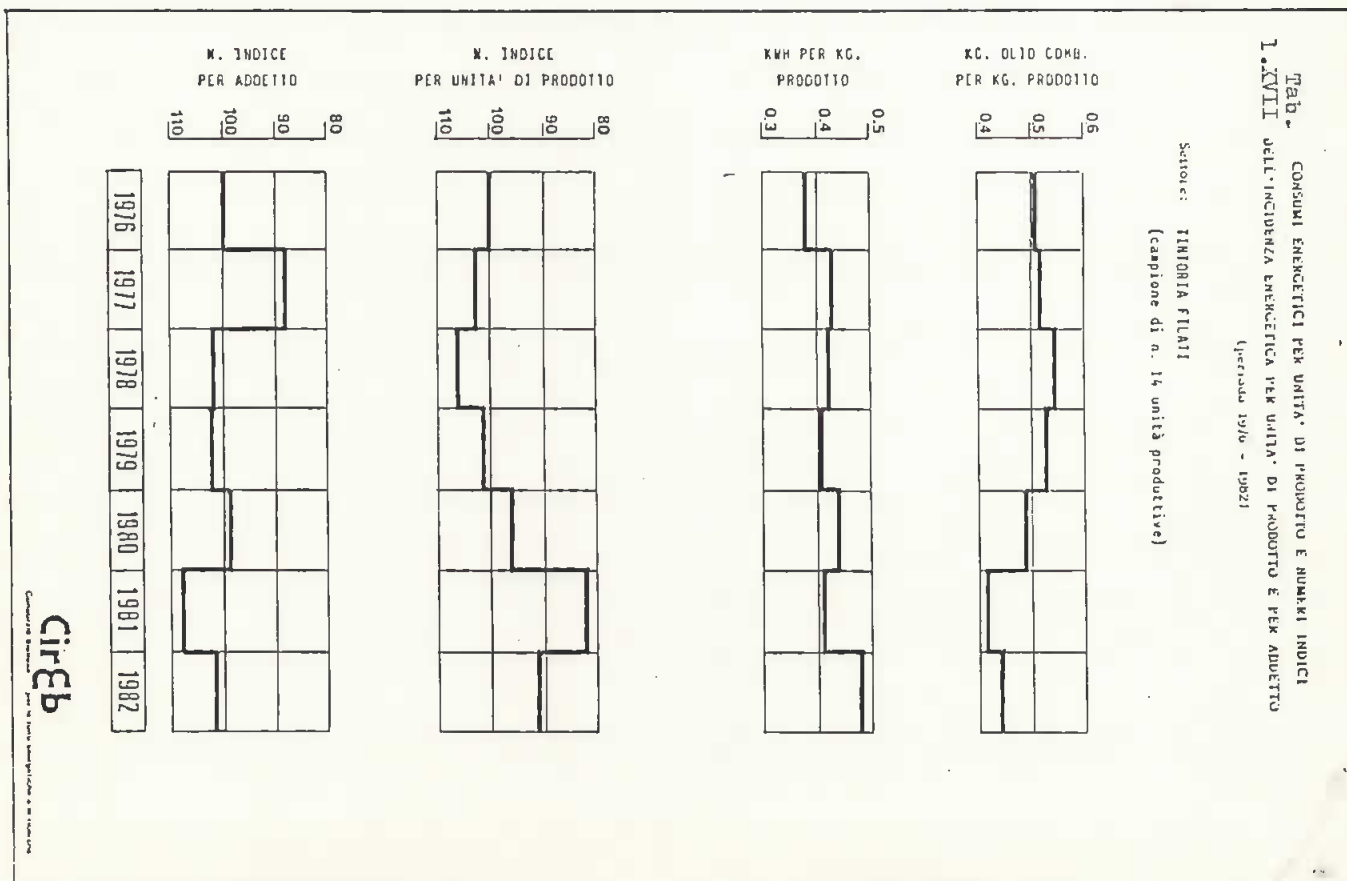
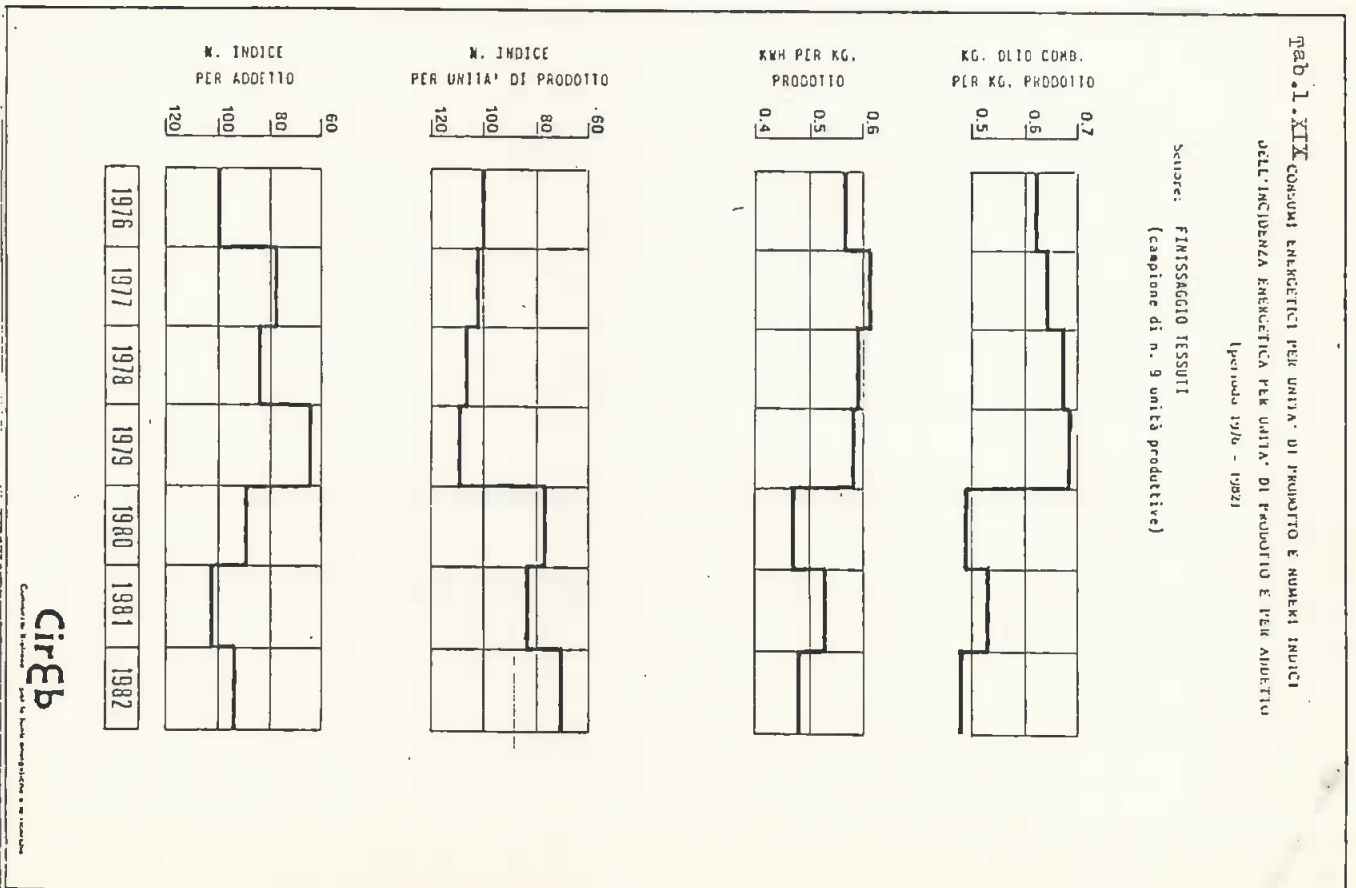


TABELLA 1. XVIII

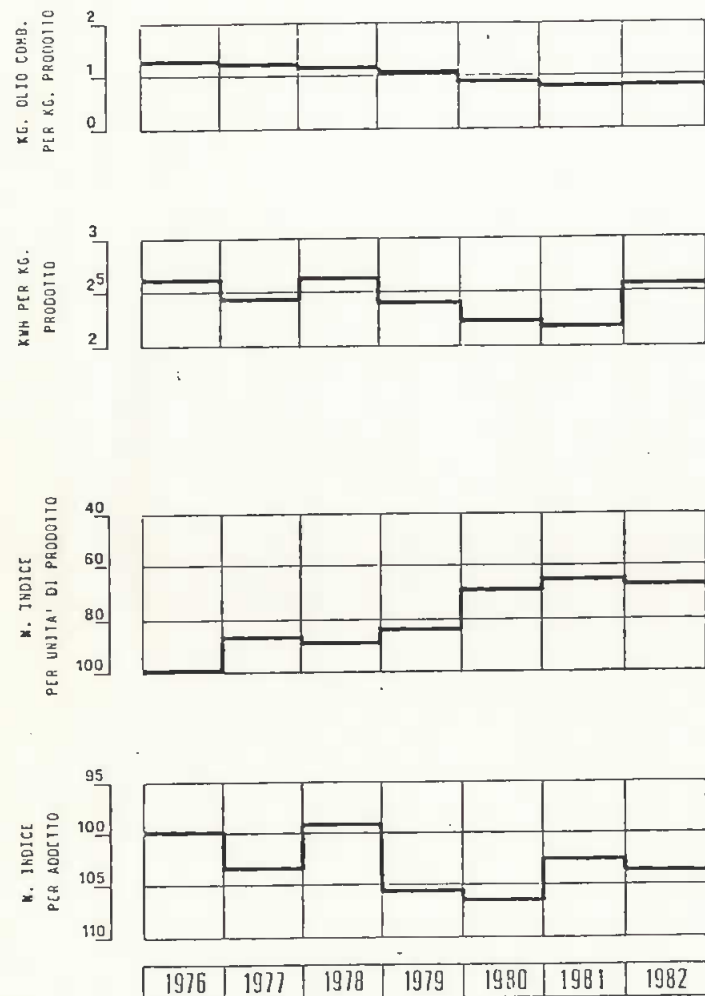
Finissaggio Filati	Energia elet. kWh/kg	olio comb. kg olio/kg
- Industria cotoniera (valori medi)	1,30	2,00
- Industria laniera	0,65	0,816

Da: Bollettino statistico sulle fonti di energia e sulla produzione industriale. ROMA M.I.C.A.



Tab.1.XX CONSUMI ENERGETICI PER UNITA' DI PRODOTTO E NUMERI INDICI
DELL'INCIDENZA ENERGETICA PER UNITA' DI PRODOTTO E PER ADDETTO
(periodo 1976 - 1982)

Settore: LAMIFICIO A CICLO COMPLETO
(campione di 16 unità produttive omogenee)



CirEb

Consorzio Italiano per la Ricerca Energetica e la Ricerca

2. METODOLOGIA PER L'ANALISI ENERGETICA.

2.1 Analisi di processo.

Questo metodo permette, attraverso lo studio del processo produttivo schematizzato come un insieme dei flussi di materia e di energia, di calcolare il contenuto energetico di un generico prodotto finito.

In genere per questo calcolo si parte dai contenuti energetici dei costituenti base ottenuti con una analisi energetica statistica.

Successivamente si calcolano i vari inputs energetici relativi al processo produttivo in esame, ottenendo così il contenuto energetico del prodotto finito.

Per quanto riguarda le materie prime necessarie al processo, anch'esse sono prodotte attraverso processi produttivi, per cui risulta molto importante definire il volume di controllo del sistema da studiare.

Inoltre è necessario domandarsi fino a quale livello di disaggregazione del sistema in sottosistema è utile spingersi per ottenere dei dati significativi. Questa parte sarà trattata in seguito.

Per calcolare il contenuto energetico di un prodotto.

finito con il metodo dell'analisi di processo si esamina lo schema a blocchi di fig.2.1, relativo ad un generico processo industriale, considerando come volume di controllo il sistema in cui entrano le materie prime ed esce il prodotto finito.

Si considera che i componenti principali del prodotto siano tre, costituiti dagli elementi primari i cui contenuti energetici sono X_{k1} , X_{k2} , X_{k3} . Questi componenti, a seguito di lavorazioni, vengono trasformati in prodotti, i cui contenuti energetici sono X_{i1} , X_{i2} , X_{i3} , pronti per il processo che li trasformerà in prodotto finito.

Quanto detto è così schematizzabile:

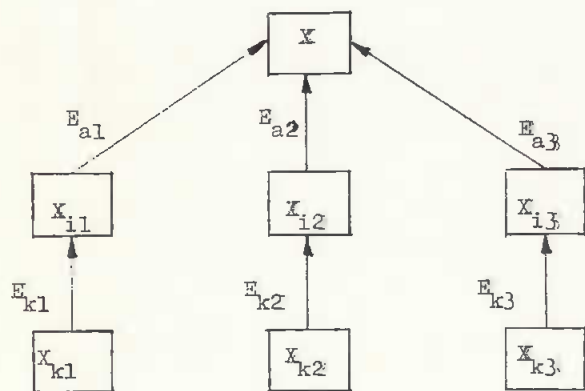


fig.2.1

Per compiere l'analisi si devono analizzare singolarmente le fasi dei processi che portano il contenuto energetico del prodotto da :

$$X_k \xrightarrow{E_k} X_i$$

$$X_i \xrightarrow{E_a} X$$

Si calcolano le energie parziali E_k , E_a delle singole fasi di un processo, in modo da poter calcolare per lo stesso prodotto X il contenuto energetico relativo al processo globale.

Naturalmente sarà

$$X = X_i + E_a$$

$$X_i = X_k + E_k$$

per cui

$$X = X_k + E_a + E_k$$

ove X_k si può calcolare in base all'analisi statistica.

La schematizzazione a blocchi consente l'impostazione di uno studio razionale del processo produttivo rivolto all'ottimizzazione dei flussi di energia che concorrono al prodotto finito.

Ad esempio, considerando lo schema in figura e muovendosi verticalmente all'interno del processo globale, può essere effettuato uno studio che metta in evidenza qua

le dei tre processi comporta il maggiore input energetico parziale. A questo punto si pone attenzione su di esso e lo si studia per minimizzare il suo costo energetico e, dove fosse possibile, si può pensare di portare all'interno del prodotto X un componente X_i^* differenziale da X_i che consenta una ulteriore riduzione dei costi energetici (Innovazione del prodotto).

Naturalmente ciò non deve compromettere la funzionalità del processo produttivo e la qualità del prodotto finale, presupposti che non devono essere mai trascurati.

Volume di controllo

Il volume di controllo è necessario per separare quelle attività che sono da analizzare dalle attività che ne stanno fuori, delle quali cioè non si considerano i legami e i contributi energetici.

In questo modo è possibile concentrare la propria attenzione su quel determinato processo in studio senza tener conto di tutte le strutture necessarie per il processo stesso.

Si possono dividere i vari processi di produzione in quattro livelli fondamentali che riguardano:

livello 1 : solo energia di processo

livello 2 : energia per produrre i materiali usati nel processo più energia del livello 1

livello 3 : energia richiesta per la produzione e la installazione degli impianti più energia dei livelli 1 e 2

livello 4 : energia per la costruzione delle macchine per produrre gli impianti più energia dei livelli 1, 2 e 3.

Inoltre per un'analisi approfondita non si deve trascurare in tutti i livelli l'energia utilizzata per il trasporto.

Per energia di processo deve intendersi tutta l'energia utilizzata nelle sue varie forme.

Di solito al livello 2 l'analisi energetica risulta essere soddisfacente, in esso si include la maggior parte dell'energia richiesta per la produzione di quel determinato prodotto, infatti i costi energetici del livello 3 e 4 sono da attribuire all'intero ciclo di produzione, rendendo così trascurabile la quota da attribuire al singolo prodotto.

Scelto il livello di analisi del processo, si suddivide il sistema in diversi sottosistemi, a seconda dell'obiettivo dell'analisi, in cui i vari processi sono contenuti

nella linea immaginaria del volume di controllo, nella quale entrano certi inputs (energia e materiali) ed escono altri outputs.

Per alcuni esempi la linea immaginaria racchiuderà la azienda, altre volte solo una fase del processo.

2.1.1 Esempio di tabelle per l'analisi dei consumi energetici di un'azienda.

Se prendiamo come sistema in esame un'azienda e come livello il primo, nel quale si considera l'energia necessaria al processo, è possibile stabilire come le risorse energetiche vengono utilizzate, identificare le aree di spreco e quali potrebbero essere i possibili interventi per ridurre i consumi.

Vengono presentate alcune tabelle per un approccio generale all'analisi dei consumi energetici aziendali.

La prima tabella 2.I contiene le quantità e i costi dell'energia utilizzata riferite ad un periodo in esame, che può essere un anno. Essa fornisce informazioni sul costo medio di acquisto dell'energia dell'azienda.

Per determinare se le risorse energetiche sono state usate in modo efficiente o se sono presenti degli sprechi è necessario analizzare in dettaglio i singoli consumi scomponendoli secondo le rispettive destinazioni; (tabella 2.II). In questo modo il sistema azienda viene suddiviso in sottosistemi. Nell'esempio in tabella i sottosistemi sono tre (uffici, reparti, magazzini).

Per analizzare l'utilizzo energetico nei reparti e la

relativa ripartizione in diversi processi produttivi risulta utile compilare la tabella 2.III.

Può risultare utile anche una verifica dei consumi energetici per il riscaldamento invernale dell'intera azienda e, dove fosse possibile, anche di sottosistemi ben individuabili, (ad esempio il consumo di energia termica per il riscaldamento ambientale degli uffici).

Con la tabella 2.IV si può confrontare il consumo energetico per il riscaldamento ambientale di due anni diversi sulla base dell'andamento metereologico della stagione invernale, ottenibile dal centro provinciale di raccolta dei dati metereologici.

A volte capita che un'azienda abbia costi energetici di trasporto interno e/o esterni non trascurabili, allora risulta conveniente utilizzare la tabella 2.V.

Per una visione energetica immediata dell'azienda è possibile, quando sono stati raccolti dati in numero sufficiente, costruire un grafico che metta in relazione il consumo di energia e la produzione (fig.2.2). Questo tipo di grafico può essere costruito per ogni vettore energetico (vapore, aria compressa, elettricità e/o qualsiasi altra forma di energia diretta o indiretta).

Tracciando i grafici del consumo energetico in funzione

della produzione per un gran numero di situazioni differenti si può arrivare a scegliere un gruppo di curve maggiormente significative, che possono essere utilizzate per fissare gli obiettivi di ottimizzazione del consumo energetico aziendale.

Inoltre è possibile disegnare diagrammi di Sankey per illustrare graficamente l'utilizzo energetico e le relative perdite di un'azienda.

In figura 2.3 è illustrato un esempio di diagramma di Sankey per una piccola azienda.

Tabella 2.I Quantità di energia utilizzata e loro costi per l'anno in esame.

Tipo di energia	t	lt	MJ	kWh	Prezzi unitarie	Costo	Unità termiche (MJ)	Costo per (MJ) Unità termica
Combustibile solido								
Combustibile liquido								
Combustibile gassoso								
Energia elettrica								
Altre forme								
TOTALE								

Tabella 2.II Destinazione RISORSE ENERGETICHE

Destinazione	Uffici	Reparti	Magazzini
Tipo di energia			
Illuminazione (kWh)			
Acqua calda (MJ)			
Riscaldamento (MJ)			
Ore effettive/mese			
Rapporto di riscaldamento (MJ/mq/mese)			

Tabella 2.III UTILIZZO RISORSE ENERGETICHE PER USO PRODUTTIVO.

Destinazione	Macchine	Processo A	Processo B	Riscaldamento
- Tipo di energia				
- Elettricità (kWh)				
• Macchine				
• Aria compressa				
• Illuminazione				
- Gas (MJ)				
- Petrolio (MJ)				
- Combustibile solido (MJ)				
- Riscaldamento				
• Vapore (MJ)				
• Elettricità (kWh)				
Unità prodotte				
Totale consumo energetico (kWh o MJ)				
Costo energetico totale				
Energia utilizzata per unità prodotte				
Costo energetico per unità prodotte				

Tabella 2.IV CONSUMO ENERGETICO PER RISCALDAMENTO

Periodo	Gradi-giorno	Consumo di combustibile (lt)		Litri/grado-giorno	
		Anno 1	Anno 2	Anno 1	Anno 2
Settembre					
Ottobre					
Novembre					
Dicembre					
Gennaio					
Febbraio					
Marzo					
Aprile					
Totale Ott./Apr					

Tabella 2.V CONSUMO ENERGETICO PER IL TRASPORTO.

Tipi di combustibile	Trasporto interno	Consegne, ecc.
Petrolio (lt)		
Diesel (lt)		
Benzina (lt)		
GPL (lt)		
Elettricità (kWh)		
Chilometraggio dei veicoli		
Merci trasportate (t)		
Consumo (t / km)		

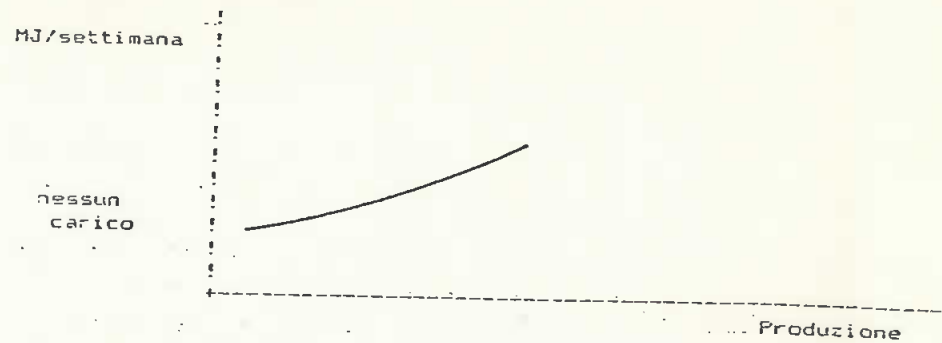


fig. 2.2

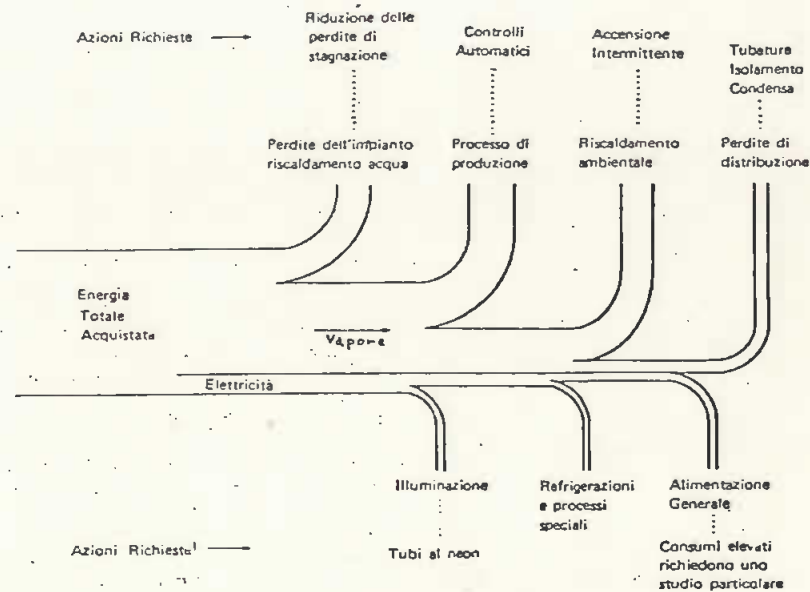


fig. 2.3

2.1.2 Bilancio di materia e di energia per un essiccatoio.

Dopo aver usato come sistema di riferimento l'azienda, i reparti, i trasporti, si restringe ulteriormente la linea di controllo per calcolare il consumo energetico di un sistema ancora più piccolo, ma non più facile, quale la macchina.

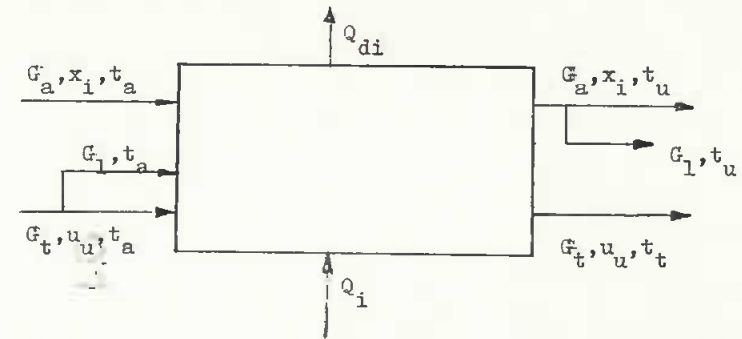
La scelta di un essiccatoio è spiegata dal fatto che i processi di asciugamento dei materiali tessili sono energeticamente dispendiosi.

A titolo di esempio si fa presente che per la lavorazione di 1 kg di lana si consumano mediamente 5.000 ÷ 7.000 kJ nelle sole apparecchiature di asciugamento con potenza impegnata fino a 1.500 kW termici e temperature dell'ordine di 100 ÷ 120 °C, mentre per il cotone si possono raggiungere temperature più alte.

Si fanno le seguenti ipotesi semplificative per calcolare il bilancio di materia e di energia:

- l'essiccatoio opera in condizioni di regime stazionario
- si trascura il contributo energetico del ventilatore
- la temperatura del tessuto e dell'aria in ingresso sono coincidenti con la temperatura ambiente.

L'essiccatoio può essere schematizzato come in figura



I simboli usati in figura hanno il seguente significato:

G_a, G_l, G_t sono rispettivamente le portate di aria secca, acqua evaporata e del tessuto secco in kg/s.

t_a, t_u, t_t, t_s temperatura ambiente, temperatura uscita aria vapore e tessuto, temperatura di saturazione a pressione di riferimento (°C).

x_i, x_u, u_i, u_u umidità del gas in entrata e in uscita e del tessuto in entrata e in uscita (% in massa).

r calore latente di evaporazione a temperatura e pressione di riferimento interna alla macchina. ($\frac{kJ}{kg}$)

Q_i, Q_d calore ceduto all'aria e calore disperso per irraggiamento nell'unità di tempo (kW)

C_p, C_t, C_v, C_l calore specifico dell'aria secca, tessuto, vapore e acqua ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$)

- Bilancio di materia

L'unica trasformazione si ha in seguito all'evaporazione dell'acqua che bagna il tessuto.

Per conoscere la quantità di acqua evaporata si parte dalla definizione dell'umidità specifica definita così:

$$u = \frac{\text{massa acqua}}{\text{massa tessuto}}$$

Dalla definizione segue che la portata d'acqua evaporata

è:

$$G_1 = G_t \cdot (u_i - u_u)$$

e il bilancio della massa di acqua e vapore è:

$$G_t (u_i - u_u) = G_a (x_u - x_i)$$

- Bilancio di energia

Le quantità di energia per unità di tempo in uscita dal l'essiccatoio sono:

- Energia per calore sensibile dell'aria

$$\dot{Q}_f = G_a [c_f + X_1 c_v] (t_u - t_a)$$

- Energia per calore sensibile del tessuto alla

uscita

$$\dot{Q}_t = G_t (c_t + c_1 u_u) (t_t - t_a)$$

- Energia associata all'acqua evaporata

$$\dot{Q}_1 = G_1 [c_p (t_s - t_a) + r + c_v (t_u - t_a)]$$

ove $c_v (t_u - t_a)$ è il calore fornito durante la fase di surriscaldamento del vapore che in alcune macchine può anche non esserci.

- Energia dispersa dalle pareti per irraggiamento

$$\dot{Q}_{di} = \epsilon \int \sigma [(273 + tmp)^4 - (273 - t_a)^4]$$

ove ϵ è il coefficiente di emissività che dipende dal materiale delle pareti esterne dell'essiccatoio

S è la superficie delle pareti (m^2)

σ costante di Stefan Boltzman = $5,77 \cdot 10^{-11} \text{ kW/m}^2 \text{K}^4$

tmp temperatura media delle pareti della macchina

La quantità di energia per unità di tempo che entra nella macchina deve uguagliare la totale uscente secondo la formula

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_f + \dot{Q}_t + \dot{Q}_1 + \dot{Q}_{di}$$

L'energia termica entrante può essere fornita direttamente dal combustibile nel caso l'essiccatoio bruci nel suo interno gas metano come succede in alcuni casi ed è pari

a

$$Q_i = 4,187 \cdot Vc \cdot pci \quad (\text{kW})$$

dove Vc è il volume del gas bruciato nell'unità di tempo, e pci è il potere calorifico inferiore (kcal/m^3).

In altri casi l'energia termica può essere fornita alla macchina attraverso un fluido termovettore (vapore, olio

diatermico) intermedio che è riscaldato in un opportuno generatore di calore situato nella centrale termica, per cui bisogna tenere conto delle perdite che avvengono durante la produzione e il trasporto dell'energia termica.

2.2. Analisi input - output.

Con questo tipo di analisi si considera il consumo totale energetico che si ha sia durante il processo produttivo diretto, sia nelle fasi indirette comunque necessarie alla produzione.

Questa analisi si basa sullo studio delle tavole intersectoriali dell'economia, (matrici di Leontief), che hanno come righe e colonne i diversi settori industriali in cui risulta suddivisa l'economia di una nazione, regione o altro.

Ciascuna riga che rappresenta un settore contiene le quantità di prodotto (input) necessario produrre altri prodotti che si trovano nelle colonne (output).

Ogni elemento della matrice può essere espresso in valore monetario, e in tal caso esso fornisce l'ammontare in moneta del prodotto i , richiesto per produrre una unità di moneta del prodotto j , nel caso che la tavola risulti normalizzata.

Così tutti gli input primari necessari per avere una unità di moneta del prodotto j sono gli elementi della colonna j diversi da 0.

Per conoscere il valore monetario della produzione del

settore, è necessario fare la somma degli elementi della riga corrispondente allo stesso settore j , che in questo caso risultano essere input degli altri.

È molto importante che la matrice sia quadrata, perchè, conoscendo le quantità dirette richieste, si può usare la stessa matrice per conoscere gli inputs necessari per avere le quantità dirette stesse.

Queste quantità possono essere chiamate secondarie.

Allo stesso modo si possono calcolare le quantità terziarie.

L'analisi input - output è suscettibile di numerosi impieghi di carattere econometrico e di solito è utilizzata per determinare i livelli di produzione relativi a una ipotizzata domanda finale di beni e servizi.

Per l'analisi energetica di un settore sarebbe necessario che gli elementi della matrice, invece che esprimere delle quantità monetarie, fossero delle quantità espresse in massa di materia ceduta da un settore all'altro.

In questo modo si otterrebbero informazioni del tipo kg di combustibile per una tonnellata di prodotto finito.

Purtroppo le tavole intersettoriali di cui si dispone sono pubblicate in termini monetari che forniscono informazioni del tipo Lire di risorsa per lira di prodotto finito.

Conoscendo il prezzo del prodotto e dell'energia si potrebbe risalire ad un indice di consumo energetico per unità in peso di prodotto, ma purtroppo questo non è sempre possibile, soprattutto per quei settori che producono prodotti molto diversi e con un valore monetario non paragonabile.

È questo il caso del tessile che produce una grande varietà di prodotti, dalle lane pregiatissime ai tessuti comuni.

Le tavole intersettoriali possono in ogni caso fornire, attraverso semplici elaborazioni, informazioni sulla composizione percentuale delle diverse risorse necessarie per la produzione di un determinato prodotto.

La percentuale del costo dell'energia del settore tessile italiano aggregato al settore abbigliamento è stata calcolata dalle tavole intersettoriali nazionali per l'anno 1975, pubblicate nell'anno 1980.

Da queste risulta che nel 1975 l'industria tessile e abbigliamento aveva un costo energetico medio, solo al 2,0% del costo totale di produzione.

Dalle tavole intersettoriali dell'economia toscana per l'anno 1978 risulta che la percentuale dei costi energetici per la sola industria tessile regionale è stata di

circa il 3,8%.

A breve termine sarà pubblicata la tavola intersettoriale dell'economia della regione Piemonte per l'anno 1980. Purtroppo questa non è fornita della riga relativa al costo energetico, di cui non sarà possibile quindi calcolare la percentuale relativa al settore tessile piemontese. Se fosse stato possibile calcolare tale percentuale, si sarebbe ottenuto un dato più aggiornato rispetto a quelli delle tavole precedenti, e si sarebbe potuto osservare come l'aumento del costo dell'energia abbia inciso sul costo totale.

2.3 Analisi statistica.

Questo tipo di analisi si basa sulle pubblicazioni di dati statistici disponibili da pubblicazioni di centri specializzati (ISTAT e altri).

L'analisi statistica permette il calcolo del costo energetico delle materie prime.

I dati necessari sono la produzione annua del prodotto in esame e il relativo consumo energetico che il settore ha dovuto sostenere nello stesso anno.

Facendo il rapporto tra il consumo energetico espresso in MJ e la produzione espressa in kg si ottiene l'indice statistico del contenuto energetico per unità di prodotto. In esso non sono contenuti i costi energetici sostenuti per estrarre, trasportare e produrre i combustibili e quelli necessari per la produzione e il trasporto della energia elettrica.

Secondo uno studio fatto per il CNR (1), il costo energetico espresso in kg di petrolio primario (kgpp) per 1 kWh elettrico è di circa 0,250 kgpp, equivalente a 10,45 MJ, ma questo è un dato che varia a seconda delle centrali

(1) Tabella pag.417 ENEA, METODOLOGIE DI RISPARMIO ENERGETICO, ed. HOEPLI. 1984

elettriche usate per la produzione di energia elettrica.

Il metodo dell'analisi statistica, pur non prendendo in considerazione tutti i costi di energia necessari, e non distinguendo i differenti prodotti della stessa industria, può offrire un metodo di indagine capace di prevedere domande future di energia, e quindi offre la possibilità di studiare piani di approvvigionamento energetico in grado di soddisfare la domanda.

Come esempio dell'applicazione di questo metodo si calcola il costo energetico dei prodotti tessili, utilizzando l' "Annuario di statistiche industriali" pubblicato dall'Istituto centrale di statistica nel 1984.

2.3.1 Calcolo del contenuto energetico medio del prodotto

Dalla tavola dei "Consumi finali di energia per categoria di utilizzatori" si legge sulla riga del settore industriale tessile che nell'anno 1980 in Italia è stata consumata una quantità di energia pari a 96027 (10^6 MJ) così ripartite:

FONTI DI ENERGIA	Quantità (10^6 MJ)
Gas naturale	16'933

Gas liquefatti	827
Gasolio	4'263
Olio combustibile	43'421
Energia elettrica	30'580
totale	96'027

Per lo stesso anno nella tavola della produzione si legge:

Produzione	Quantità (t)
di filati e tessuti di cotone	435'407
di filati di lana	789'511
di tessuti di lana	209'954
di tappeti da pavimento	33'348
di feltri tessuti e relativi art.tec.	2'010
totale	1470'230

Il costo energetico per 1 kg di prodotto tessile è dato da :

$$\frac{\text{input totale annuo}}{\text{produzione nazionale annua}} = 65,3 \text{ MJ/kg}$$

A questo va sommato il costo energetico dell'energia elettrica utilizzata nel settore, prendendo come costo unitario dell'energia elettrica a Media Tensione pari a

0,25 kgpp/kWh = 10,45 MJ/kWh, avendo considerata 1 kgpp = 41,86 MJ (10000 kcal).

Si ottiene per il settore tessile per l'anno 1980

Fonte	Quantità (10^6 MJ)
gas naturale + gas liquefatto	17'760
olio combustibile	43'421
gasolio	4'263
energia elettrica	88'896
totale	154'340

un costo energetico di circa $154340 \cdot 10^6$ MJ che va diviso per la produzione dell'industria tessile dell'anno 1980, che è stata di circa $1470 \cdot 10^6$ kg, ottenendo così un costo energetico medio per la produzione di 1 kg di prodotto di circa 104 MJ/kg.

3. PROPOSTE DI INTERVENTI DI OTTIMIZZAZIONE DEL CONSUMO ENERGETICO.

3.1 Interventi gestionali.

Per interventi gestionali si intendono tutti gli interventi che sono possibili con l'utilizzo delle risorse interne all'azienda, ad esempio interventi di manutenzione ordinaria che comportano solo investimenti marginali, ma che comunque migliorano le prestazioni di un impianto evitando sprechi di energia.

Questi tipi di interventi si qualificano per i tempi brevi richiesti per la loro attuazione e per la facile verifica dei loro risultati.

Alcuni esempi sono il controllo delle fughe di vapore, d'acqua surriscaldata e di aria compressa, il controllo accurato del riscaldamento, condizionamento e illuminazione che garantisca condizioni ambientali accettabili.

Tra questi interventi sono riconducibili anche quelli che, non essendo direttamente interessati alla produzione ma alle attività ausiliarie a questa necessarie, comportano risultati economici interessanti.

E' questo il caso di una buona gestione dei contratti di fornitura di energia elettrica e di gas, i quali preve-

domo diversa tariffazione a seconda del tipo di fornitura richiesto dall'utente.

Ogni situazione aziendale ha delle caratteristiche non facilmente generalizzabili per cui nel presentare un intervento di tipo gestionale si è preferito esaminare una situazione di carattere più generale, quale la gestione di un generatore di calore.

3.1.1 Controllo del rendimento di combustione dei generatori di calore.

Un impianto termico industriale risulta costituito da tre elementi principali:

- Generatore di calore in cui mediante la combustione di un adatto combustibile si genera calore che viene trasferito ad un fluido termovettore.
- Rete di distribuzione in cui il fluido viene convogliato ai punti di utilizzo e generalmente ricondotto al generatore di vapore ad un minore contenuto energetico.
- Utente in cui il fluido termovettore cede gran parte del suo calore sensibile all'utilizzatore finale.

Nel caso specifico dell'azienda tessile il fluido termovettore per usi tecnologici può corrispondere a vapore, acqua surriscaldata e in alcuni casi ad olio diatermico utile per le operazioni di termofissaggio cui è necessaria una temperatura di circa 200-220 °C.

La maggior parte dell'energia termica necessaria a soddisfare il fabbisogno termico aziendale è prodotta nei generatori di calore, per cui se essi non hanno rendimento massimo, questo comporterà sensibili perdite di energia termica.

Il rendimento termico di un generatore è dato dal rapporto fra l'energia termica utilizzata per aumentare il contenuto entalpico del fluido termovettore, e l'energia termica fornita attraverso la combustione.

Non sempre risulta immediato calcolare il contenuto entalpico del fluido termovettore, e dove non fosse possibile, il rendimento si può calcolare attraverso una diversa formulazione, in cui l'energia termica utilizzata è ottenuta dalla differenza fra quella fornita e quella persa.

$$\eta = 100 - P_{CS} - P_{CO} - P_{IR}$$

dove P_{CS} , P_{CO} e P_{IR} sono rispettivamente:

- Perdite per calore sensibile nei prodotti di combustione.

- Perdite per calore latente dei prodotti di combustione.

- Perdite per irraggiamento e convezione.

Le perdite per calore sensibile sono dovute alle elevate temperature dei fumi che vengono scaricati dal camino. Il calore perduto è :

$$q_{CS} = M_c G_f C_f (T_f - T_a) \quad (\text{kW})$$

ove M_c è la portata di combustibile (kg/s)

G_f è la massa dei gas che si ottiene dalla combustione di 1 kg di combustibile (kg/kg_c)

C_f è il calore specifico dei fumi mediato sulle temperature (kJ/kg °C)

$(T_f - T_a)$ è la differenza fra la temperatura media dei fumi alla base del camino e la temperatura dell'aria comburente all'entrata del generatore di calore.

La perdita percentuale per calore sensibile risulta:

$$P_{CS} = \frac{q_{CS}}{M_c H_i} 100 = \frac{G_f C_f (T_f - T_a)}{H_i} 100$$

ove H_i è il potere calorifico inferiore del combustibile (kJ/kg).

Le perdite per calore latente dovute alla combustione

incompleta del carbonio contenuto nel combustibile sono frequenti nei combustibili solidi e gassosi; si porrà attenzione a questi ultimi, che vengono maggiormente usati nell'industria tessile.

La portata volumetrica del gas CO è :

$$Q_{CO} = M_c G'_v \frac{[CO]}{100} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

ove $[CO]$ è la percentuale volumetrica di ossido di carbonio nei gas secchi

G'_v è la quantità volumetrica dei gas secchi per 1 m³ di combustibile (m³/m³)

M_c è il consumo orario di combustibile (m³/h)

Per ogni m³ di CO si perdono 12,62 MJ/m³ per la incomplete combustione per cui il calore perduto all'ora sarà:

$$q_{CO} = M_c G'_v \frac{[CO]}{100} \cdot 12,62 \quad (\text{MJ/h})$$

e la relativa perdita percentuale risulta:

$$P_{CO} = \frac{q_{CO}}{M_c H_i} 100 = \frac{G'_v [CO]}{H_i} 12,62$$

ove H_i è il potere calorifico inferiore del gas espresso in MJ/m³.

Le perdite per irraggiamento e convezione sono funzione del carico termico del generatore di calore e sono valutate dal diagramma in fig.3.1.

Le perdite di energia termica sono dunque dovute principalmente all'aumento di temperatura dei prodotti di combustione e a combustioni anomale che non bruciano totalmente il combustibile.

La temperatura media dei fumi può aumentare per le seguenti cause:

- insudiciamento delle superfici di scambio
- rottura parziale di diaframmi delimitanti il percorso dei fumi all'interno del generatore di calore.

Le combustioni anomale possono essere dovute a:

- insudiciamento ed usura dell'ugello del bruciatore
- miscelazione non uniforme tra combustibile e comburente
- difetti di volume di aria comburente necessaria alla combustione.

Queste cause possono essere rimosse in seguito a interventi di manutenzione ordinaria.

Per realizzare il valore massimo del rendimento, quindi il minore consumo di combustibile, oltre seguire le buone norme di manutenzione è necessario che il volume d'aria comburente non scenda al di sotto del valore minimo tale da non rilevare tracce di incombusti nei fumi. Per il controllo della combustione è necessario determinare la percentuale di CO_2 e O_2 , da cui si risale al volume dei gas di scarico, attraverso apparecchi di controllo quali ad esempio l'apparecchio di ORSAT, che permette di rilevare anche la percentuale di CO, oppure con i diversi analizzatori elettrochimici di cui esistono anche degli apparecchi portatili, che danno la percentuale di O_2 e di incombusti presenti nei fumi.

3.2 Interventi impiantistici.

In questo paragrafo vengono presentati alcuni interventi su alcune macchine del processo di nobilitazione che permettono un uso razionale dell'energia, sia attraverso sistemi di controllo di parametri del processo, sia con sistemi di recupero dell'energia termica. Vengono inoltre presentati alcuni sistemi di produzione di energia sia termica che elettrica che, attraverso un uso razionale dell'energia, consentono di ottenere risparmi energetici significativi.

3.2.1 Ottimizzazione e recupero di energia termica in un processo di asciugamento.

Il processo di asciugamento ha lo scopo di eliminare dai prodotti tessili l'acqua superficiale e l'acqua di rigonfiamento al fine di ottenere il tenore naturale di umidità delle fibre. Una parte dell'acqua superficiale aderente alla fibra viene eliminata dal substrato tessile attraverso le operazioni meccaniche di spremitura e centrifugazione, prima che il prodotto tessile entri nell'essiccatoio.

In questa prima fase si può aumentare la quantità d'acqua che viene asportata, al fine di rendere minima la

Diagramma perdite di irraggiamento per generatori di modesta potenzialità

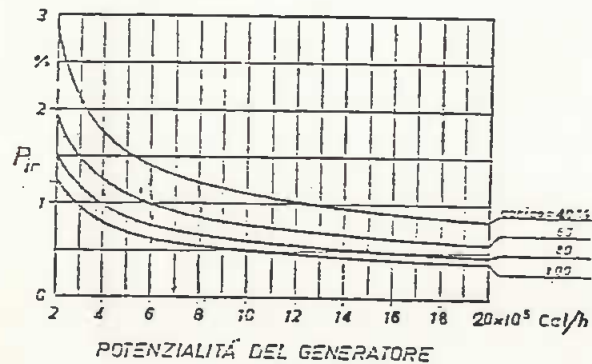


fig.3.1 Perdita P_{ir} per generatori di modesta potenzialità in ambiente chiuso.

Cfr. : Donatello Annaratone - Generatori di vaporey Tamburini, Milano, 1975

quantità di energia termica necessaria per la fase successiva di evaporazione dell'acqua residua.

Dato che in alcune fasi del processo di nobilitazione l'acqua contiene sostanze chimiche usate durante il finissaggio, utili per dare determinate caratteristiche al prodotto tessile, l'asportazione dell'acqua superficiale non può essere spinta oltre certi limiti.

L'acqua di rigonfiamento delle fibre invece può essere estratta solo con l'azione del calore.

Nella nobilitazione dei tessuti in pezza i processi di asciugamento si hanno durante la fase di preparazione, durante il processo di tintura che precede un asciugamento intermedio e durante il finissaggio finale.

Esistono diversi sistemi di asciugamento classificabili secondo il tipo di trasmissione dell'energia, tra i quali i più importanti sono:

- Asciugamento per contatto
- Asciugamento per convezione
- Asciugamento per radiofrequenza,

di cui si parlerà nel capitolo 4.

Nell'asciugamento per contatto il tessuto assorbe il calore per contatto attraverso cilindri metallici riscaldati internamente da fluidi termovettori diversi a secon-

da della casa costruttrice.

Questo tipo di essiccatoio è usato per gli asciugamenti intermedi.

Nell'asciugamento per convezione la trasmissione del calore avviene mediante aria calda in movimento.

Gli essiccatoi a convezione possono essere suddivisi secondo il tipo costruttivo in :

- a) Essiccatoi a camera
- b) Essiccatoi a canale o a tunnel.

a) Gli essiccatoi a camera sono usati sia per il processo di asciugamento discontinuo per piccole produzioni, sia per processi continui per i quali il tipo più importante è l'apparecchio "hot-flue".

Si tratta di una camera in cui viene fatto passare il tessuto in cilindri distanziati e posti su due file parallele, in modo che il tessuto sia guidato da cilindri alterni a due file formando delle spire verticali in cui viene fatta circolare l'aria calda.

La macchina hot-flue è usata per gli asciugamenti intermedi.

b) Tra gli essiccatoi a convezione del tipo a canale il più importante è la "rameuse". Questa macchina può essere piana o a più piani. Nel caso della rameuse piana il

tessuto entra bagnato da una parte del canale d'asciugamento ed esce asciutto dalla parte opposta. Queste macchine raggiungono lunghezze a volte anche superiori ai settanta metri.

Nel caso delle rameuse a uno o più piani il tessuto si ripiega una o più volte all'interno della macchina compiendo uno o più passaggi.

Oltre alle operazioni di asciugamento, in questa macchina vengono effettuate anche operazioni di termofissaggio delle sostanze chimiche di finissaggio in cui si raggiungono temperature di circa 200 °C.

Nella rameuse si effettuano le ultime operazioni sul tessuto che lo rendono finito e pronto per la commercializzazione.

Dopo questa breve descrizione di alcune macchine in cui si effettua il processo di asciugamento, si esamina l'aspetto fisico del processo a convezione del quale è stato effettuato un bilancio energetico al punto 2.1.2.

Si definisce consumo specifico C_s il rapporto tra la energia termica fornita all'aria secca Q_i e la quantità di vapore contenuta in esso che sarà uguale a $G_a (x_u - x_i)$ ove G_a è la portata di aria secca e x_u , x_i sono le umidità specifiche di uscita e di entrata.

$$C_s = \frac{Q_i}{G_a (x_u - x_i)} \quad \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg acqua}} \right)$$

In questo bilancio sono state considerate separatamente le masse del vapore, dell'aria e del tessuto interessate allo scambio termico.

In realtà la massa di vapore che si crea in seguito alla evaporazione dell'acqua contenuta dal tessuto è miscelata all'aria usata durante il processo di asciugamento, che all'uscita della macchina avrà una diversa percentuale di umidità (x_u).

Usando le notazioni e le ipotesi del punto 2.1.2 senza trascurare il contributo energetico W del ventilatore la equazione di bilancio energetico si può riscrivere così:

$$H_{ai} + H_{ti} + Q_i + W = H_{au} + P + H_{tu}$$

ove H_a , H_t sono i contenuti entalpici dell'acqua e del tessuto.

$$G_t T_a (C_t + u_i C_{i1}) + G_a \left[C_a T_a + x_i (r + C_{vT_a}) \right] + Q_i + W = G_t T_t (C_t + u_u C_{u1}) + G_a \left[C_a T_u + x_u (r + C_{vT_u}) \right] + P$$

ove P sono le perdite che si hanno nell'essiccatoio (irraggiamento, condotti di scarico, ecc.).

Per semplificare questa espressione si fa l'ipotesi, supportata da dati sperimentali (1), che la variazione del-

l'entalpia del tessuto e della quota dell'energia corrispondente alle perdite rappresenti una frazione costante dell'incremento di entalpia posseduta dall'aria esausta uscente dall'impianto in condizione di regime. Tale frazione $(H_{tu} - H_{ti} + P)$ può essere pari a $0,2 (H_{au} - H_{ai})$ e in tali condizioni l'espressione del bilancio diventa:

$$Q_i + W = 1,2 G_a \left[C_a (T_u - T_a) + r (x_u - x_i) + C_v (x_u T_u - x_i T_a) \right]$$

Il consumo specifico allora diventa:

$$C_s = \frac{Q_i + W}{G_a (x_u - x_i)} = 1,2 \frac{C_a (T_u - T_a) + r (x_u - x_i) + C_v (x_u T_u - x_i T_a)}{(x_u - x_i)}$$

Questa formula permette attraverso semplici misurazioni di temperatura e umidità di conoscere C_s anche se contie ne delle approssimazioni.

Il rendimento termodinamico di un processo di essicca zione è ottenuto dal rapporto fra l'energia associata al vapore (calore latente e calore sensibile) contenuto nel l'aria di scarico e il consumo specifico.

(1) J.LAUERES, J.PERRIN, M.STAROSWIECKI: "Etude du fonctionnement des séchoir textile". Bull.Scient. ITF. voc 7 n° 27 Agosto '78.

$$\eta = \frac{r + C_v \frac{(x_u T_u - x_i T_i)}{x_u - x_i}}{\text{consumo specifico}}$$

Questa espressione del rendimento viene sostituita con una detta convenzionale

$$\eta = \frac{r}{\text{consumo specifico}}$$

Il consumo di energia di un processo di essicca zione risulta elevato in quanto la velocità di passaggio dal tessuto in macchina è alta per ragioni produttive. Infatti il consumo reale di energia risulta di 4500-6000 kJ per ogni kg di acqua evaporata.

Questa energia può essere così suddivisa

- evaporazione acqua 30-60%
- riscaldamento aria 30-40%
- perdite varie (pare ti e materiali) 10-20%

L'ottimizzazione del consumo energetico può essere ottenuta attraverso

- l'aumento della saturazione dell'aria esaurita
- il riciclo dell'energia termica dell'aria esaurita dispersa nell'ambiente.

L'aumento della saturazione dell'aria esaurita, ossia la ricerca delle condizioni ottimali di esercizio dell'essiccatoio mediante regolazione delle variabili di processo, può essere realizzata con apparecchi di controllo umidità e regolazione della portata d'aria calda all'uscita. Tali apparecchi agiscono sulle serrande di parzializzazione dell'aria nel canale di scarico quando l'aria non ha raggiunto il livello di umidità previsto.

L'installazione di un apparecchio di controllo dell'umidità dell'aria esaurita risulta essere più conveniente quando il tessuto da asciugare non è sempre lo stesso, in quanto cambiano alcuni parametri del processo di asciugamento quali ad esempio la velocità di trasferimento dell'acqua dal tessuto all'aria.

Un altro aspetto da non trascurare è che con l'aumento dell'umidità dell'aria esaurita si deve diminuire la velocità del tessuto all'interno della macchina.

Il recupero termico dell'aria calda esausta può essere utilizzato per preriscaldare l'aria in entrata all'essiccatoio o per altri usi, come ad esempio integrare il riscaldamento ambientale.

E' necessario che il recupero si effettui in essiccatoi i cui parametri di processo siano perfettamente regolati

in modo da rendere massima l'ottimizzazione del consumo. Nel caso il recupero termico venga utilizzato per preriscaldare l'aria in entrata all'essiccatoio, per evitare condensazioni all'interno dello scambiatore, si recupera solo la parte di calore sensibile dell'aria, e questo risulta meno conveniente quanto più l'essiccatoio opera in condizioni ottimali. La frazione di energia recuperabile con queste ipotesi risulta circa del 30% del consumo totale.

I recuperatori aria-acqua possono essere del tipo a torre di raffreddamento che risultano tanto più convenienti quanto più l'aria è umida, poichè permettono il recupero anche del calore latente del vapore.

Con questi scambiatori è possibile ottenere acqua a temperatura di circa 50 °C, ma questa risulta contaminata dalle sostanze inquinanti presenti nell'aria.

Si riportano alcuni esempi di ottimizzazione del consumo energetico realizzato con apparecchi SCOMAT della casa costruttrice Mahlo che controllano l'umidità presente nell'aria esausta (fig.3.2) di cui si darà un esempio di applicazione nel paragrafo 5.1.

Nelle tabelle 3.I, 3.II, 3.III si riportano alcuni risultati di prove effettuate con tali apparecchi.

Nella tabella successiva (3.IV) si riportano alcuni dati tecnici ed economici relativi a impianti di recupero di energia per un essiccatoio avente le caratteristiche seguenti:

- portata d'aria esausta 5000 m³/h
- temperatura aria espulsa 110 °C
- umidità specifica aria espulsa 50 gr H₂O/kg aria secca
- temperatura aria da preriscaldare 20 °C
- umidità specifica aria da preriscaldare 10 gr H₂O/kg aria secca

Il coefficiente di reintegro aria preriscaldata varia a seconda dello scambiatore.

Da questa tabella è possibile calcolare il Pag Back Periodo con le seguenti ipotesi:

combustibile metano, bruciato direttamente nell'essiccatoio

pci 8500 kcal/m³
costo 250 L./m³

Caso: AIRECO, TUBI DI CALORE costo: ML.27,050
recupero: kcal/h 82000

$$\text{recupero} = \frac{82000}{8500} \cdot 250 = 2411 \text{ L./h}$$

PBP=11215 ore.

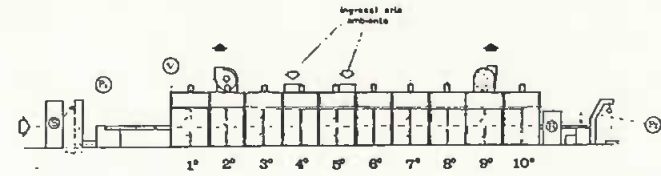


Fig. 3.2 - Schema dell'asciugante sulla quale sono state eseguite le prove. L'ECOMAT.

Tab. 3.1

COTONE 256 g/m ²			
PROVE	SENZA	1° CON ECOMAT	2° CON ECOMAT
CONSUMO TERMICO Kcal/Kg H ₂ O	2445	1844	1675
RIDUZIONE DI CONSUMO	/	17%	23,7%
UMIDITA' ARIA ESAUSTA	62	107	110

[g H₂O/Kg aria]

- Risultati ottenuti nelle prove di consumo termico sui tre articoli trattati.

Tab. 3.II

COTONE VISCOSA 100 g/m ²			
PROVE	SENZA	1° CON ECOMAT	2° CON ECOMAT
CONSUMO TERMICO Kcal/ Kg H ₂ O	2057	1912	1596
RIDUZIONE DI CONSUMO	/	4%	17,5%
UMIDITA' ARIA ESAUSTA	70	93	112

[g H₂O/Kg aria]

Supplemento al N. 7 - luglio 1983

Tab. 3.III

GABARDINE DI COTONE 180 g/m ²		
PROVE	SENZA ECOMAT	CON ECOMAT
CONSUMO TERMICO Kcal/Kg H ₂ O	2965	2036
RIDUZIONE DI CONSUMO	/	21,2%
UMIDITA' ARIA ESAUSTA	64	105

[g H₂O/Kg aria]

Tab. 3.IV

COSTRUTTORE	TIPO	Costo elemento di scambio (M.Lit.)	Costo complesso di scambio (M.Lit.)	Efficien. di temper. dichiarata (%)	Rapporto di reintegro dichiarata	Ripulimento energetico (KJ/h)	Ripulimento energetico (KCal/h)	Temperat. aria preriscaldata (°C)	Perdita di carico	
									lato espuls.	lato mandata
RECUPERATOR	A PIASTRE	1,555	=	47,6	1,0	263.300	62.900	62,8	333	294
AIRECO	TUBI CALORE	7,050 (°)	27,050 (°°°)	63,0	0,9	343.200	82.000	82,6	=	=
G - DOT	TUBI CALORE	4,780	9,560 (°)	54,0	0,8	234.000	55.900	69,0	132	115
EUROPAIR	TUBI CALORE	3,215	=	61,5	1,0	334.900	80.000	75,3	181	164
ROSSO OFFICINE "1"	TUBI CAL- A GRAVITA'	3,248	8,120 (°)	60,0	1,0	346.200	82.700	74,0	106	286
ROSSO OFFICINE "2"	TUBI CAL- A GRAVITA'	2,560	6,400 (°)	50,0	1,0	288.400	68.900	65,0	87	23
MINNETTI	RUOTA RIGEN.	11,900 (°°)	=	73,9	0,7	401.000	95.800	86,5	64	67
BABCOCK FAMATEX	RUOTA RIGEN	16,790 (°°)	26,300 (°°°)	65,5	0,6	242.000	57.800	79,0	=	=

(°) Prezzo orientativo fornito verbalmente dal costruttore.

(°°) Compresi ventilatori assiali e cassoni Immissione aria preriscaldata.

(°°°) Compreso sistema automatico di pulizia.

(fonte: CIREB, ONE, G.R. "O. RIVETTI")

3.2.2 Recupero di energia termica dagli effluenti liqui di caldi.

Le operazioni in bagno acquoso durante il ciclo produttivo di un'azienda tessile sono molto frequenti e comportano un notevole consumo di acqua, che deve essere riscaldata talvolta a temperatura di circa 100 °C per necessità di lavorazione e successivamente scaricata a temperatura ancora elevata.

Tra le operazioni in bagno acquoso le più importanti sono il lavaggio, il pre e post trattamento e la tintura.

Un accurato lavaggio costituisce la premessa per la buona riuscita di tutte le operazioni di finitura. La principale funzione del lavaggio è la rimozione di tutte le impurità presenti nella fibra.

Durante la preparazione alla tintura e/o al finissaggio dei tessuti in pezza, oltre ad eliminare gli oli di filatura dove fossero presenti, si deve asportare anche la bozzima.

La bozzima viene applicata sui fili dell'ordito prima della tessitura per aumentare la resistenza degli stessi in modo che possano resistere agli sforzi a cui sono sottoposti durante la lavorazione.

Il post-trattamento al processo di finitura e stampa

ha la funzione di eliminare dal tessuto gli addensanti e il colorante non fissato.

Nel lavaggio in continuo di tessuti stampati il consumo dell'acqua può essere compreso fra le 4 e le 8 volte il peso del tessuto quando questo è trattato con coloranti di tipo: diretti, acidi, borici e dispersi a bassa intensità, mentre il consumo di acqua sale alle 15-25 volte per coloranti: reattivi, tino, dispersi ad alta intensità e loro miscele.

La differenza fondamentale tra le problematiche inerenti alla fase di pre-trattamento e a quella di post-trattamento consiste nel fatto che nel secondo caso il carico inquinante è maggiore in seguito alla presenza degli addensanti e coloranti che debbono essere rimossi dal substrato.

Il rendimento del lavaggio e di operazioni simili è la misura dell'effetto di depurazione del tessuto ottenuto nel processo e può essere espresso dalla relazione:

$$\eta = \frac{C_i - C_o}{C_i}$$

dove C_i e C_o sono le quantità di sostanze contenute dalle fibre tessili prima e dopo il lavaggio.

La quantità di sostanza che abbandona per diffusione il

tessuto in una unità di tempo è esprimibile attraverso la relazione:

$$\frac{dC}{dt} = k b (I_t - I_b)$$

in cui k è il coefficiente di diffusione inteso come velocità di trasferimento della sostanza (cm/s).

b è la superficie del tessuto che viene a contatto con il bagno (cm²)

$(I_t - I_b)$ è la differenza di concentrazione di sostanza fra tessuto e bagno (g/cm³)

Dalla relazione precedente si può notare che più il tempo di lavaggio è lungo e più è grande la differenza di concentrazione, tanto maggiore risulta la quantità di sostanza asportata dal bagno.

Per contenere i tempi di trattamento si accelera l'effetto della diffusione facendo circolare il bagno controcorrente al tessuto e lo si riscalda a temperatura fra 50-90 °C a seconda del tipo di tessuto da trattare e della fase del processo.

Come esempio si riporta il contenuto energetico delle acque di scarico di una macchina per processi continui di pre-trattamento del tessuto di cotone, installata nella azienda di cui si parlerà nel paragrafo 5.1.

Da questa macchina viene scaricata una portata d'acqua di

circa $17 \text{ m}^3/\text{h}$ alla temperatura media di $86 \text{ }^\circ\text{C}$, che entra in ciclo alla temperatura di circa $22 \text{ }^\circ\text{C}$.

Il contenuto energetico della portata di scarico riferito all'unità di tempo è di

$$Q = 4550 \text{ MJ/h}$$

La notevole quantità di energia perduta ha suggerito alla azienda di operare un recupero energetico attraverso la installazione di uno scambiatore di calore, che si è rivelato molto conveniente.

Altri aspetti del problema energetico, che sono più importanti del recupero energetico, sono l'innovazione del processo e l'ottimizzazione del processo.

Nel caso dei trattamenti in soluzioni acquose un primo intervento innovativo potrebbe essere la diminuzione della quantità dei litri di acqua necessari per trattare un kg di prodotto (rapporto bagno) in modo da avere meno acqua da riscaldare.

Altro intervento innovativo è quello di sostituire l'acqua con altri solventi. Di questo si parlerà nel capitolo 4 dell'innovazione tecnologica.

L'ottimizzazione del processo in soluzioni acquose può avvenire attraverso sistemi adatti alla gestione e con-

trollo di parametri variabili durante il processo.

Ad esempio in una macchina di lavaggio l'andamento del rendimento del processo in funzione del consumo d'acqua per kg di tessuto ha un andamento non lineare come in figura 3.3 per cui oltre un determinato consumo ottimale non si ottengono incrementi di rendimento soddisfacenti. Obiettivo di un sistema di ottimizzazione potrebbe essere il contenimento del rapporto bagno (lt di acqua per kg di tessuto) in un intorno vicino al valore ottimale.

Attualmente esistono diversi sistemi, che controllano e regolano il processo, studiati per ottimizzare i consumi di acqua, di energia e di prodotti chimici. Essi consentono inoltre di memorizzare e analizzare dati di produzione nel senso di kg e/o m di prodotto trattato e relativi consumi.

Purtroppo durante la mia ricerca non sono riuscito a trovare dati circa gli effettivi benefici ottenuti dall'installazione di sistemi di controllo e gestione. Del resto questi dati non vengono pubblicati nemmeno dalle ditte costruttrici, forse perchè sono ancora in via di sperimentazione.

La disponibilità di dati circa i benefici ottenuti a seguito di interventi risulta molto più ampia quando si passa agli interventi di recupero di energia termica.

Il recupero attraverso scambiatori di calore dagli af fluenti liquidi dei processi non si presenta di facile realizzazione a causa delle sostanze contenute in essi e a volte anche per la non continuità nel tempo del proces so. Si è già detto, all'inizio di questo paragrafo, che le acque di scarico di un lavaggio contengono concentra= zioni più o meno elevate di sostanze chimiche corrosive, a seconda del processo precedente che il prodotto tessi= le ha subito, che vincolano la scelta del materiale da utilizzare nella costruzione di uno scambiatore.

Inoltre sono presenti nelle acque corpi in sospensione (peluria, filacci) e sostanze estratte dalla fibra tessi= le durante il processo (per esempio grassi, cere, e altri), che rendono necessario un sistema di filtrazione per evi tare intasamenti all'interno dello scambiatore.

Im alcuni casi i processi di tintura sono discontinui per cui sorge la esigenza di dovere accumulare l'energia ter mica attraverso lo stoccaggio di acqua calda pulita im serbatoi, per poterla rimettere in ciclo nelle operazio= ni successive, o , se gli impianti lo permettono, di tra sferirla ad altri processi.

Tutto questo penalizza economicamente il recupero.

Nel ciclo continuo il recupero risulta più conveniente

poichè l'energia termica contenuta negli scarichi può es sere utilizzata per preriscaldare l'acqua necessaria al processo stesso.

E' stato progettato da una ditta meccanotessile italia= na uno scambiatore che permette il recupero di energia termica dall'acqua di scarico dei processi di lavaggio e tintura senza una precedente filtrazione.

L'aspetto innovativo dello scambiatore in questione ri= spetto a quelli tradizionali consiste nel fatto che per ottenere uno scambio termico soddisfacente si mantengono in rotazione le pareti di scambio, che sono quelle dei di schi opportunamente sagomati e calettati ad un albero ca vo in cui viene fatta circolare l'acqua pulita.

L'acqua calda sporca è immessa nella vasca e sommerge interamente il rotore, che tramite un movimento rotato= rio ne aumenta la turbolenza.

Questo comporta come effetto positivo l'impedimento del deposito di cere e inquinanti meccanici sul rotore, il quale è rifinito mediante trattamento elettrolitico per renderne le superfici levigate.

Inoltre, date le sue caratteristiche, lo scambiatore ha un'alta efficienza di scambio termico, che può essere considerata costante in quanto non richiede interventi

di pulizia, garantendo così anche una continuità lavorativa della macchina.

Durante un sopralluogo in una azienda ho potuto vedere un recuperatore rotante installato e i calcoli relativi alle prestazioni di questo scambiatore sono riportati nel paragrafo 5.1.

Si riportano nella tabella 3.V i dati relativi al rendimento dello scambio termico di altri recuperatori di calore rotanti installati e funzionanti, ove T_p e T_s sono le temperature del fluido pulito e sporco.

I tempi di ritorno economico dell'investimento sono inferiori all'anno e questo rende l'installazione di un recuperatore molto interessante per i processi in continuo.

Nel caso di processi a scarichi discontinui di acqua, i tempi di ritorno economico dell'investimento risultano più lunghi e non è nemmeno detto che sia sempre realizzabile l'installazione del sistema all'interno del lay-out aziendale già esistente; migliori possibilità si hanno per strutture aziendali nascenti in cui si potrebbe prevedere una stazione di accumulo di energia termica.

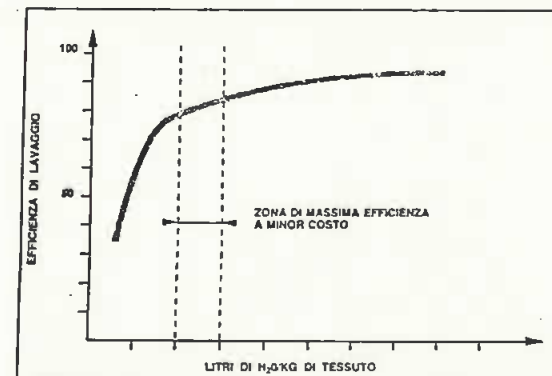


fig.3.3

Tab. 3.V

MACCHINA	Portata in out (l/h)	T_{pi} (°C)	T_{po} (°C)	T_{si} (°C)	T_{so} (°C)	En.Rec./h MJ/h	%
Lavaggio	4300	13	65,6	76,3	22	945	83
Candeggio e Lavaggio	14200	13	65,9	80,1	25,4	3140	78,8
Tintura	9800	13	44,5	55,9	23,7	1300	73,4

(fonte: relazione ing. Pozzi al convegno SISTEMI DI ENERGIA '82)

3.2.3: La possibilità di cogenerazione.

La configurazione del sistema di cogenerazione per la produzione combinata di energia elettrica ed energia termica è scelta in base al tipo di utenza che è caratterizzata dall'

$$\text{INDICE ELETTRICO} = \frac{E_E}{E_T}$$

dove E_E , E_T sono la richiesta di energia elettrica e termica.

I parametri di confronto fra i diversi sistemi di cogenerazione sono

- Il rendimento termico globale

$$\eta_T = \frac{E_C + E_T}{E_C}$$

dove E_C è l'energia fornita dal combustibile al sistema cogenerativo

- L'incremento di consumo C di combustibile che si ha nel passaggio da un sistema per la sola generazione di calore ad un sistema cogenerativo.

Questo va riferito all'energia elettrica

$$C = \frac{E_C - E_T/\eta_c}{E_E}$$

dove η_c è il rendimento del generatore di calore.

- Il risparmio di combustibile R , conseguibile rispetto alla produzione separata della stessa quantità di energia E_E e E_T

$$R = 1 - \frac{E_C}{\frac{E_E}{\eta_E} + \frac{E_T}{\eta_c}}$$

dove η_E è il rendimento elettrico della centrale elettrica e, nel caso E_E fosse comprata fuori, η_E deve contenere anche le perdite dovute alla distribuzione.

I sistemi di cogenerazione possono essere

- a ciclo superiore, se l'energia termica viene prima utilizzata per la produzione di energia elettrica ed il calore di scarto viene destinato agli usi di processo.
- a ciclo inferiore, quando il primo impiego dell'energia termica è di processo ed il calore di scarto viene utilizzato per la produzione di energia elettrica con potenze molto limitate.

La scelta del sistema di cogenerazione dipenderà dunque dai livelli termici del processo.

I sistemi a ciclo superiore si possono realizzare con turbine a vapore o a gas e con motori diesel o a gas.

Sistemi con turbine a vapore.

Questi sono caratterizzati da un elevato grado di affidabilità e consentono l'uso di tipi diversi di combustibile.

Gli impianti possono essere effettuati con turbine a contropressione o con turbine a derivazione e condensazione.

Negli impianti a contropressione (fig.3.4) tutto il vapore viene fatto espandere fino ai valori di pressione e temperatura richiesti dal processo termico.

La turbina a contropressione è caratterizzata da bassi valori del rapporto E_E/E_T ($1/5 \div 1/15$), che diminuiscono al crescere della pressione del vapore destinato al processo termico.

La convenienza dell'uso di questa turbina è tanto maggiore quanto più alto è il livello di potenza richiesto, poiché aumenta la pressione del vapore all'ingresso, quindi aumenta il salto entalpico disponibile.

La potenza elettrica P_E (kW) ottenibile espandendo una portata di vapore G (kg/s) è data da

$$P_E = \eta_v \eta_e G (H_A - H_B)_{is}$$

dove η_v è il rendimento totale della turbina, η_e è il rendimento dell'alternatore.

$(H_A - H_B)_{is}$ è il salto entalpico isentropico disponibile tra le condizioni di alimentazione A e di scarico B, $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$.

Una volta fissati G , η_v e $(H_A - H_B)_{is}$ restano determinati i criteri di dimensionamento della turbina, che non risulta sufficientemente flessibile per seguire le variazioni dell'indice elettrico durante il funzionamento.

Questo comporta che per far fronte agli aumenti di carico elettrico si ottiene più vapore di quello richiesto, e nel caso di diminuzione dell'energia elettrica richiesta bisogna parzializzare l'immissione di vapore in turbina.

Nelle turbine a derivazione e condensazione (fig.3.5) una sola parte del vapore, estratta dagli stadi intermedi a temperature e pressioni differenti, viene utilizzata nel processo termico, mentre la restante parte va al condensatore.

La presenza del condensatore rende più complesso l'impianto per cui questa turbina meglio si adatta a sistemi centralizzati.

Il funzionamento di tale sistema risulta più flessibile del sistema con turbine a contropressione, e può essere dimensionato per soddisfare domande di energia elettrica e termica variabili in campi molto ampi dell'indice elettrico (E_E/E_T).

Il rendimento termico globale è più basso di quello con-

seguibile nelle turbine a contropressione dal momento che solo una parte di vapore può essere utilizzata nel processo.

Turbine a Gas.

Queste turbine vengono alimentate a gas o gasolio e ciò comporta più alti costi di esercizio e più frequenti operazioni di manutenzione.

Negli impianti per la produzione combinata di energia elettrica vengono utilizzate turbine a gas a ciclo aperto, preferibilmente del tipo non rigenerativo ossia senza preriscaldamento dell'aria comburente, che invece sono ormai consuetudine negli impianti che producono solo energia elettrica. (fig.3.6)

Questo permette di utilizzare le notevoli portate dei gas di scarico, con $T = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ a basso carico, per la produzione di vapore utile agli usi produttivi in una caldaia a recupero.

Le turbine a gas consentono alti rapporti (E_E/E_T) dell'ordine di $1/1,5 \div 2, 1/4$ dovuto ad un migliore rendimento elettrico conseguibile e ad un minore rendimento termico globale.

Rispetto alle turbine a vapore si hanno dunque valori di E_E/E_T più elevati e non dipendenti dalle condizioni di

pressione richieste dall'utenza termica.

La potenza elettrica ottenibile in un impianto nella forma più semplice e approssimata è data da

$$P_E = G \left[\eta_g (H_A - H_B)_{is} - \frac{1}{\eta_{cp}} (H_c - H_d) \right] \eta_e$$

dove G è la portata dei fumi (kg/s)

$(H_A - H_B)_{is}$ è il salto entalpico in turbina del gas con trasformazione isentropica (KJ/kg).

$(H_c - H_d)_{is}$ è il salto entalpico nel compressore con trasformazione isentropica (KJ/kg).

$\eta_g, \eta_{cp}, \eta_e$ i rendimenti della turbina a gas, del compressore e dell'alternatore.

Questi impianti possono essere resi più flessibili con un aumento di produzione di vapore mediante una post-combustione nella caldaia a recupero. Così possono aversi rapporti di E_E/E_T ancora più bassi.

Nel caso che E_T richiesta sia inferiore, una parte del volume di gas viene smaltita in atmosfera dove non fossero possibili altri impieghi.

Motori diesel e a doppio combustibile.

Per la produzione combinata di energia elettrica e termica possono essere utilizzati i motori a combustione interna.

Questi possono essere sia motori ad accensione controllata che a iniezione. (fig.3.7)

I motori a iniezione funzionanti a gasolio possono essere alimentati anche a gas con l'aggiunta di piccole quantità di gasolio per l'iniezione. I motori a combustione interna, rispetto alle turbine a gas, hanno un maggiore rendimento elettrico e un minor costo di manutenzione.

Gli indici elettrici per sistemi di questo tipo sono all'incirca il doppio di quelli delle turbine a gas.

Il calore utilizzabile si ottiene in parte dai gas di scarico ($T = 350 \text{ }^\circ\text{C}$) e in parte dall'acqua di raffreddamento. L'impianto può essere reso più flessibile con la combustione in caldaia a recupero di altro combustibile per aumentare la produzione di vapore.

Cicli combinati.

I cicli combinati consistono nell'accoppiamento in serie di una turbina a gas e di una turbina a vapore che azionano generatori elettrici.

I gas di scarico della turbina a gas vengono mescolati in una caldaia a recupero, con o senza bruciatori ausiliari al fine di produrre vapore, che va ad azionare una turbina a vapore del tipo a controcompressione o a condensazione secondo l'esigenza dell'utenza.

I cicli combinati consentono di ottenere alti valori del rendimento elettrico e alti valori di $\frac{E_E}{E_T}$ e sono quindi particolarmente convenienti quando la domanda di elettricità è grande rispetto a quella termica.

Inoltre presentano elevata flessibilità durante le variazioni di richiesta di energia elettrica e/o termica.

La scelta del sistema cogenerativo dipende dal tipo di richiesta energetica dell'utenza ed in particolare dalla quantità e dai parametri termodinamici quali la temperatura a pressione del vapore richiesto.

Il primo elemento da definire è l'indice elettrico $I = \frac{E_E}{E_T}$ che orienta la scelta verso i sistemi di cogenerazione più opportuni.

Per esempio quando l'energia elettrica è soltanto una piccola quota di quella termica ($1/15 \div 1/5$) occorre indirizzarsi verso la scelta di turbine a vapore e controcompressione.

Per rapporti I ($\frac{E_E}{E_T}$) immediatamente superiori a quelli propri delle turbine a controcompressione, possono essere scelti sistemi con turbine a derivazione e condensazione, con le quali diminuendo il vapore spillato si tende ad aumentare la produzione di energia elettrica.

Alti indici elettrici possono essere raggiunti anche con

sistemi combinati di turbine a gas e a vapore.

Nei campi intermedi dei rapporti E_E/E_T vi è un'ampia possibilità di scelta dei sistemi di cogenerazione.

Possano essere infatti utilizzate turbine a gas ($I = 1/1,6$ a $1/4$), motori alternativi ($I = 1/2,5$ a $1,3/1$) ed ancora i sistemi combinati.

La scelta definitiva del sistema viene fatta considerando che siano soddisfatti anche gli altri parametri termodinamici dell'utenza e valutando quale sistema risulta economicamente conveniente sulla base di un'analisi tecnico-economica.

In uno studio condotto da ENEA, FIAT TEG e CIREB è stata valutata la possibilità di diffusione della cogenerazione per il sottosettore laniero dell'area di Biella. Sono state esaminate 53 situazioni aziendali di cui 33 appartenenti all'industria laniera e 20 all'industria del perfezionamento dei tessuti secondo la classificazione ISTAT.

Nel primo gruppo erano inclusi lanifici a ciclo completo e filature pettinate con o senza tintoria.

Del secondo gruppo facevano parte tintorie e tintorie con finissaggio.

In figura 3.8 viene dato l'andamento dell'indice elet

trico con il consumo energetico per addetto e per tipo di azienda analizzata dal campione esaminato.

Si può notare come per le aziende di tintoria e finissaggio il consumo termico sia più rilevante del consumo elettrico.

Fra le aziende esaminate, per tre sono stati effettuati studi di fattibilità per l'installazione di un sistema di cogenerazione.

In tabella 3.VI sono elencate alcune caratteristiche delle tre aziende.

Dall'analisi tecnico-economica in tabella 3.VII risulta che il sistema di cogenerazione con turbina a vapore (TV) è più conveniente a causa del basso costo di combustibile e del basso investimento per l'impianto.

Infatti il T_R , tempo di ritorno, risulta il più basso tra quelli delle soluzioni proposte, mentre il tasso di redditività interno, TIR , e il valore attuale netto risultano tra i più alti.

La turbina a gas a recupero con produzione di vapore (TG) presenta un basso rendimento complessivo ed è penalizzata per l'esigenza di una stazione di compressione del metano.

I gruppi diesel (GD) e a gas (GG) sono favoriti rispetta

to alla turbina a gas; il gruppo a gas in particolare è più vantaggioso del diesel in quanto il prezzo del metano è inferiore al prezzo del gasolio.

Nelle tabelle 3.VIII, 3.IX e 3.X sono illustrate le prestazioni e i parametri di risparmio delle turbine a vapore, gas e dell'impianto con motore diesel esaminati nell'analisi tecnico-economica.

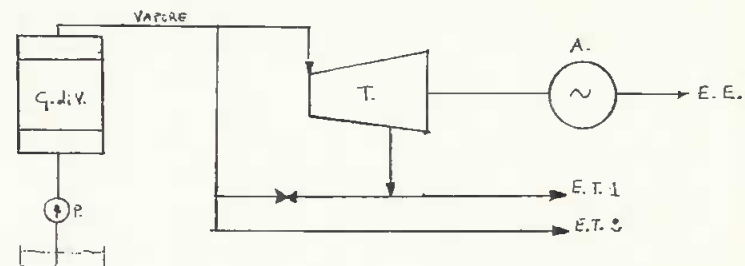


fig. 3.4

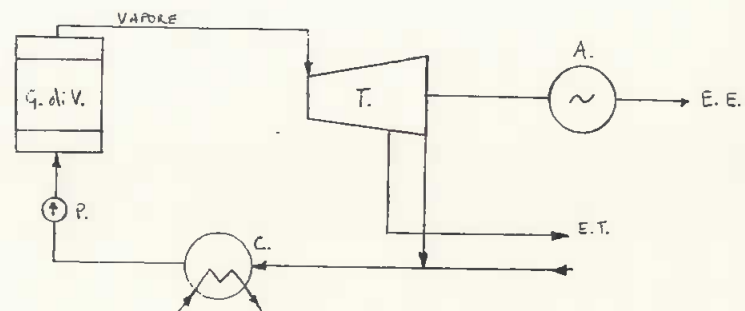


fig. 3.5

LEGENDA:

G. di V. (Generatore di vapore); T. (Turbina); A. (Alternatore);
 E. E. (Energia Elettrica); E. T. (Energia Termica); P. (Pompa);
 C. (Condensatore); C. di R. (Caldaia di Recupero); CO. (Compressore);
 C. C. (Camera di Combustione); M. C. (Motore a Combustione);

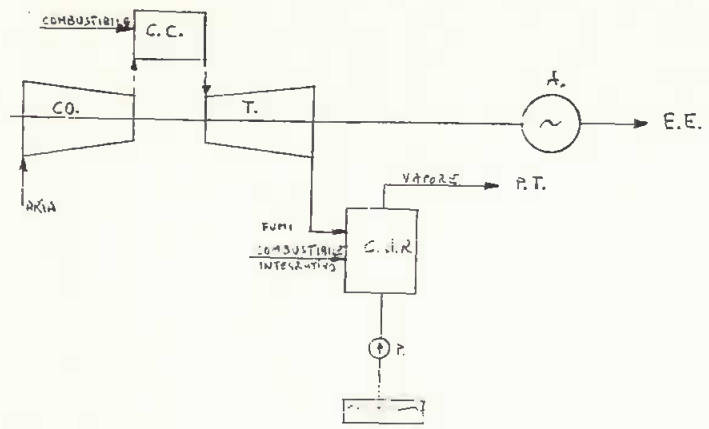


fig. 3.6

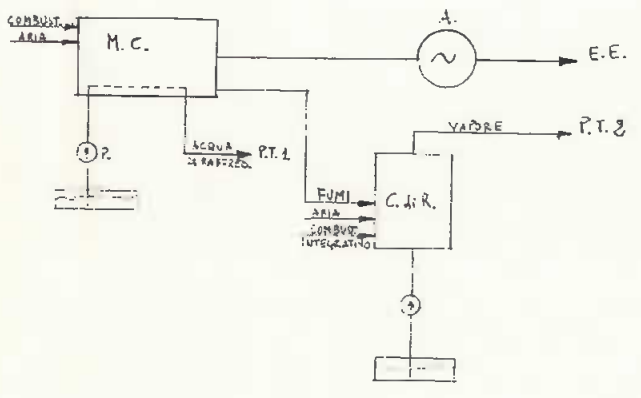
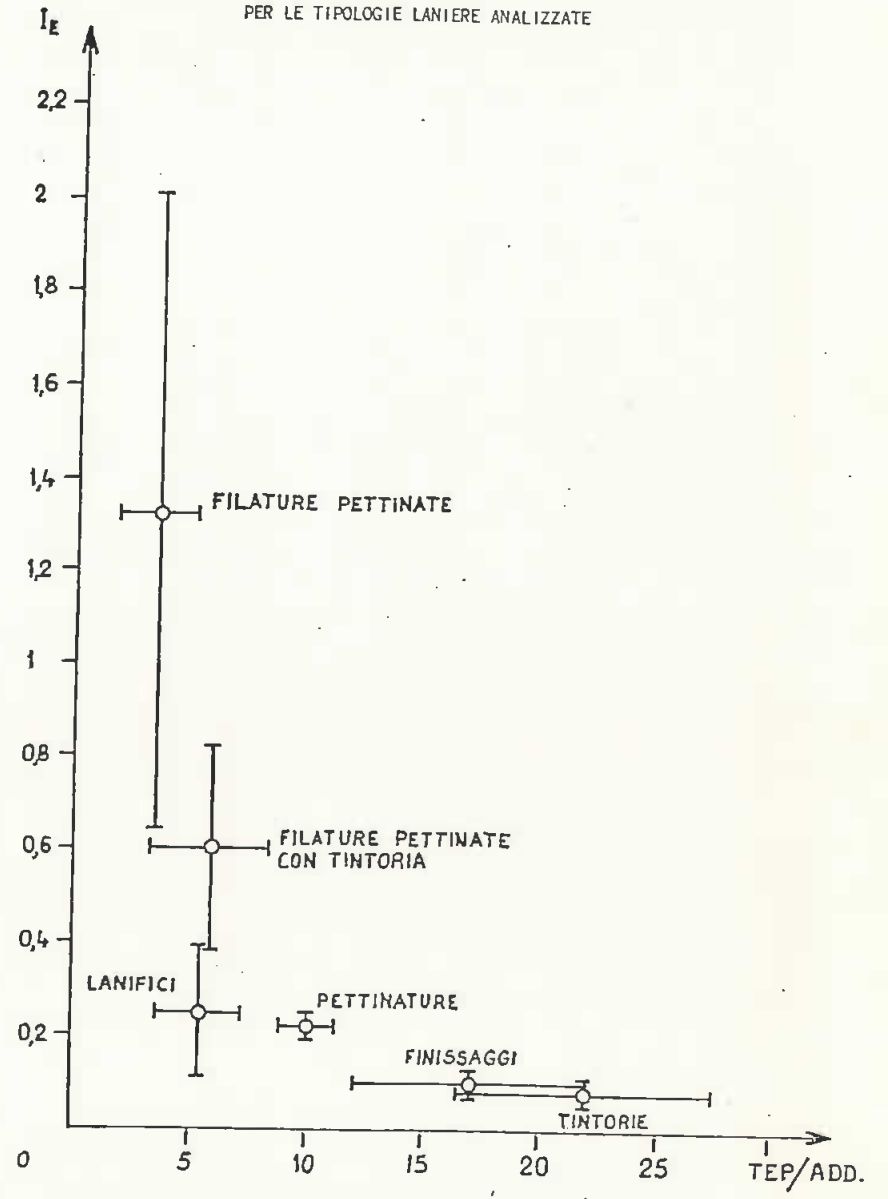


fig. 3.7

FIG. 3.8- ANDAMENTO DELL'INDICE ELETTRICO CON IL CONSUMO UNITARIO PER LE TIPOLOGIE LANIERE ANALIZZATE



(fonte: ENEA, FIAT C.R.F., FIAT TIG, CIREB.)

TABELLA 3.VI CONFRONTO TRA ALCUNI DATI CARATTERISTICI
DELLE AZIENDE SCELTE

CARATTERISTICHE	TINTORIA e FINISSAGGI	LANIFICIO	PETTINATURA
Numero Turni	2	3	3
Età media caldaie	< 10 anni	10 > < 20 anni	< 10 anni
Consumo termico	1.110 t/a o.c.	1.012 t/a o.c.	1.673 t/a o.c.
Consumo elettrico	1.398 Mwh/a	2.680 Mwh/a	4.000 Mwh/a
Indice elettrico base anno	0,14	0,29	0,26
Potenza impegnata	520 kw	750 kw	1.040 kw
Carico base termico	500 kw - 250 kw	650 kw - 350 kw	750 kw - 375 kw
Indice elettrico giornaliero	0,22	0,55	0,33
Richiesta di conti- nuità di servizio	si	si	si

(fonte: ENEA, FIAT C.R.F., FIAT TTG, CIREB)

TABELLA 3.VII INDICI DI CONVENIENZA ECONOMICA

IMPIANTO	TINTORIA			LANIFICIO			PETTINATURA						
	h/a	1/gruppo (MC)	T _R (a)	h/a	1/gruppo (MC)	T _R (a)	h/a	1/gruppo (MC)	T _R (a)	V.A.M. (MC) (15a - 5%)	TIR %	V.A.M. (MC) (15a - 5%)	
1 I.V.	2640	290	4,5				5280	390	3	33,4	941		
1 IG.1		350	5,4					370	2,5	10	1001		
1 IG.2	2640	520	13,4	5280	390	256		370	243	neg.			
2 GG-b	2530	205	10,2					205	5,9	14,8	156		
2 GG-b	2640	255	9,8					255	5,9	14,8	224		
3 GG-a												230	
3 GG-a												245	297

(fonte: ENEA, FIAT C.R.F., FIAT TTG, CIREB)

TABELLA P. VIII

I.V. - IMPIANTO DI COGENERAZIONE CON TURBINA A VAPORE
A CONTROPRESSIONE DA 240 kWe

* PRESTAZIONI INDICATIVE

- Potenza elettrica	240 kW	
- Consumo orario della caldaia ..	209 kg/h di ATZ	
- Energia immessa oraria	2357,3 kW \equiv 2.027300	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$
- Calore recuperabile	1860,46 kW \equiv 1.600.000	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$
- Rendimento elettrico	10,1 %	
- Rendimento termico	78,9 %	
- Rendimento energetico	89 %	
- Indice elettrico	0,13 %	

* PARAMETRI DI RISPARMIO (#)

- Risparmio % combustibile	20,5 %
- Risparmio orario in Tep	0,0525 Tep/h
- Risparmio % in costo	30 %
- Risparmio orario in Lit.	26.692 Lit/h

* ONERE ORARIO DI MANUTENZIONE

(compreso sostituzione macchina) ... 2.400 Lit/h

(*) Rispetto alla soluzione tradizionale con caldaia a olio combustibile ATZ ed energia elettrica prelevata da rete ENEL.

(fonte: ENEA, FIAT C.R.F., FIAT TIG, CIREB)

TABELLA 3- IX

TG.2 - IMPIANTO DI COGENERAZIONE CON TURBINA A GAS (442 kW)

* PRESTAZIONI INDICATIVE (#)

- Potenza elettrica	442 kW
- Consumo orario	244 Nm ³ /h di metano
- Energia immessa oraria	2326 kW \equiv 2 Gcal
- Calore recuperabile	1280 kW \equiv 1,1 Gcal.
- Vapore prodotto	1760 kg/h
- Rendimento elettrico	19 %
- Rendimento termico	55 %
- Rendimento energetico	74 %
- Indice elettrico	0,345

* PARAMETRI DI RISPARMIO (##)

- Risparmio % di combustibile ...	16,37 %
- Risparmio orario in Tep	0,039 Tep/h
- Risparmio % in costo	21,14 %
- Risparmio orario in Lit.	19.628 Lit/h

* ONERE ORARIO DI MANUTENZIONE

(compreso sostituzione motore) 5.000 Lit/h

(#) - Temperatura ambiente 15 °C - Quota 340 - 400 m. s.l.m.

(##) - Rispetto alla soluzione tradizionale con caldaia ad olio combustibile ATZ ed energia elettrica prelevata da rete ENEL.

(fonte: ENEA, FIAT C.R.F., FIAT TIG, CIREB)

TABELLA 3. X

GD-a - IMPIANTO DI COGENERAZIONE CON MOTORE DIESEL AIFO 8281 SRI
PER PRODUZIONE SOLO ACQUA CALDA

* PRESTAZIONI INDICATIVE

- Potenza elettrica	240 kW	≡	206.400	$\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$
- Consumo orario	52 kg/h		(gasolio)	
- Energia immessa oraria	617 kW	≡	530.620	kcal/h
- Calore recuperabile	{ dal raffreddamento motore	132 kW	≡	113.520 kcal/h
	{ dai fumi	142 kW	≡	122.120 kcal/h
	{ Totale	272 kW	≡	235.640 kcal/h
- Rendimento elettrico	38,9	%		
- Rendimento termico	44,4	%		
- Rendimento energetico (o rapporto di utilizzazione ca- lore)	83,3	%		
- Indice elettrico caratteristico..	0,876			

* PARAMETRI DI RISPARMIO (≠)

- Risparmio % del combustibile	37,32	%
- Risparmio orario in Tep	0,0316	Tep/h
- Risparmio % in costo	31,28	%
- Risparmio orario in Lit.	11.430	Lit/h

* ONERE ORARIO DI MANUTENZIONE

(compreso sostituzione motore)..... 2.400 Lit/h

(≠) - Rispetto alla soluzione tradizionale con caldaia a olio combustibile
ATZ ed energia elettrica prelevata da rete ENEL.

(fonte: ENEA, FIAT C.R.F, FIAT TTG, CIREB)

4. INNOVAZIONE TECNOLOGICA

In questo capitolo vengono prese in esame quelle tecnolo-
gie che ad oggi sono ancora oggetto di sperimentazio-
ne sia in laboratorio che presso aziende pilota. Inoltre
vengono presentati alcuni interventi innovativi su macchi-
ne già esistenti.

4.1 Innovazione tecnologica nei processi produttivi.

In momenti di crisi economica si richiede che i costi
di produzione non lievitino e la qualità del prodotto non
degradi per non perdere in competitività. Queste richie-
ste possono essere soddisfatte, almeno in parte, attra-
verso una continua innovazione dei cicli produttivi che
comporti l'impiego di nuove tecnologie e una nuova inter-
pretazione del modo di produrre.
Infatti durante questi periodi di congiuntura la produ-
zione deve essere realizzata attraverso:

- tecnologie tali da risolvere il problema della
"diversificazione" dei prodotti imposti dal mer-
cato.
- la ricerca di modi per produrre con una miglio-
re "qualità e affidabilità".
- il recupero dei "costi di produzione" attraver

so lo studio dei tre parametri fondamentali (per il settore tessile): produttività, energia, coloranti ed ingredienti.

In questo capitolo è preso in esame uno dei parametri fondamentali, l'energia, che consente un recupero dei costi di produzione.

La ricerca del risparmio di energia può essere realizzata sia attraverso l'uso di nuova tecnologia (MR, HE) che attraverso sistemi di recupero e di programmazione o controllo dei principali parametri di processo (pressioni, temperatura, umidità, tempi, velocità tessuto).

Prima di approfondire l'argomento energia mi sembra necessario discutere sul processo di automatizzazione nel settore.

L'industria tessile ad oggi risulta la meno sviluppata in fatto di automazione in quanto sono presenti strutture aziendali molto varie.

Per questo motivo l'automazione dell'industria tessile, intesa quale razionalizzazione dei sistemi di produzione, è fattibile per impianti di nuova installazione.

I problemi maggiori che si incontrano nell'automazione di un ciclo di lavorazione tessile sono dovuti all'elevato numero di macchine usate nei cicli produttivi ed inoltre

solo per il 10-20% del tempo dell'intero ciclo produttivo il materiale rientra nell'effettiva produzione, essendo il tempo rimanente attribuibile agli stoccaggi, ai trasporti, ai magazzinaggi, ai tempi di attesa e altri. E' per questo e per gli elevati costi che finora c'è stato solo un elevato sviluppo dell'automazione delle macchine singole e non del processo completo, che necessita invece l'automazione del collegamento fra macchina e macchina, tra fase e fase di lavorazione.

Nell'ultima esposizione internazionale del macchinario tessile, che si svolse a Milano nell'ottobre 1983, furono presentate alcune automazioni di collegamenti fra gli stiratoi, le filoroccatrici, (macchine di preparazione alla filatura), e all'interno del ciclo produttivo delle fibre sintetiche fra i moduli di scarico bobine e riattacco fili.

Questi sono piccoli passi che porteranno all'automazione totale della filatura.

Sicuramente l'automazione totale dell'industria tessile, intesa come completamento dell'automazione delle macchine, dei collegamenti delle singole fasi, della meccanizzazione dei trasferimenti, della manipolazione dei prodotti intermedi, pone dei problemi tecnologici di diver-

sa natura che si prospettano in linea di massima migliorativi in quanto non soggetti ad interventi umani di meccanicità variabile, ma che talvolta richiedono soluzioni costruttivamente onerose.

Molto dipenderà dalle potenzialità del settore di conversione industriale dall'area di "labour intensive" a quello di "capital intensive".

4.1.1 Tecniche a Minima Applicazione.

Prima di illustrare questa nuova tecnica è necessario tenere presente che nella trasformazione di un articolo greggio in prodotto finito hanno un ruolo importante i seguenti fattori:

- il tipo di fibra o tessuto da rifinire
- i prodotti chimici usati
- il tipo di processo impiegato.

L'ottimizzazione di una tecnica di lavorazione deve passare necessariamente attraverso la collaborazione fra il produttore del manufatto tessile, il costruttore del macchinario e il produttore di ausiliari e di coloranti, e sembra fatto ormai acquisito che tra l'idea innovativa e la sua realizzazione su scala industriale passino più o meno 10 anni.

Il concetto che sta alla base di questa nuova tecnica, la Minima Applicazione, è "bagnare meno per spendere meno", in quanto si risparmia sia in energia nell'asciugatura e nel riscaldamento dei bagni che in prodotti chimici nell'applicazione.

Il concetto oggi è sviluppato in diversi modi a seconda del tipo di fibra da trattare e della specializzazione del costruttore di macchinari.

C'è chi usa per realizzarlo la schiuma, chi il solvente, chi coloranti da tintura per esaurimento a freddo con bassi rapporti tintura-bagno o altro.

Gli obiettivi che si sono voluti raggiungere con la minima applicazione sono il risparmio di tempo, di energia e di acqua (sia da usare in ciclo che da ritrattare), garantendo comunque la sicurezza di funzionamento e di produzione.

Dal confronto del fabbisogno di calore della fase di nobilitazione con quello della fase di produzione dei filati e tessuti si constata che la fase di nobilitazione offre maggiori possibilità di riduzione di energia e la riduzione del bagno si presta benissimo a questo scopo. D'altra parte è inutile esasperare la riduzione del bagno quando le perdite sia per calore sensibile dell'aria

esausta dell'asciugamento che per irraggiamento sono del 30% circa del consumo nella nobilitazione.

Il consumo di calore può essere suddiviso fra il riscaldamento del bagno (acqua + coloranti), il riscaldamento del materiale e dei macchinari, e la copertura delle perdite per irraggiamento ed evaporazione dell'acqua assorbita dal tessuto. Tra questi i maggiori consumi sono dovuti al riscaldamento dell'acqua nella tintura e alla evaporazione dell'acqua nell'asciugatura, e questo ha portato allo svolgimento di procedimenti continui, in cui si saltano le fasi intermedie di asciugatura.

Poiché il trattamento in continuo non consente un'ulteriore riduzione delle quantità di bagno, si cerca di raggiungere questo scopo mediante il sistema detto di Minima Applicazione.

Vengono illustrati due metodi di MA, la tecnologia della schiuma e il metodo TRIATEX-MA.

4.1.1.1 Tecnologia della schiuma.

La tecnologia della schiuma o meglio dell'applicazione minima dei bagni sotto forma di schiuma offre concrete possibilità di risparmiare solvente, soluto ed energia nel finissaggio. Essa consente inoltre l'aumento della capacità di asciugamento e della velocità della macchina.

Nella tintura il risparmio di energia risulta inferiore a quello del finissaggio in quanto per l'ottenimento di una buona uniformità e di una buona riproducibilità è necessario un adeguato volume di bagno, anche se questo viene applicato con schiuma.

Nello sviluppo della stampa tessile e soprattutto della stampa dei tappeti sono necessari ulteriori sforzi per ridurre le concentrazioni dell'addensante.

Per ogni sistema di applicazione del colorante è necessario un apparecchio o sistema schiumogeno separato, per cui anche se per il finissaggio e la tintura la maggior parte dei problemi sono stati risolti tecnicamente, questo non implica che lo siano per la stampa, ove le procedure sono differenti.

In tutti i metodi di applicazione la macchina gioca un ruolo determinante ed anche il substrato del prodotto da trattare, poiché deve fornire tassi di schiuma stabili ed un drenaggio uniforme della schiuma sul substrato. (figura 4.1).

L'applicazione dei bagni di schiuma risulta più conveniente se applicata agli articoli che richiedono una elevata quantità di bagno.

Dalla fig.4.2 risulta che i tappeti (500%) e gli articoli a pelo (200%) offrono maggiori possibilità di rispar

mio rispetto ad altri substrati il cui assorbimento di bagno con il procedimento in continuo convenzionale è inferiore al 100%.

In confronto ai bagni effettuati nelle macchine "Foulard", nell'applicazione con schiuma la quantità di bagno può essere meglio dosata.

Esaminando i diversi substrati da trattare dopo essere stati bagnati e sottoposti a drenaggio meccanico fino ai valori limite, si constatano notevoli differenze in base al tipo di fibra.

Come valore di minima applicazione viene preso il valore limite del drenaggio meccanico, in modo da non avere una mancanza di assorbimento del bagno nella struttura della fibra.

Il concetto di applicazione unilaterale, cioè su un solo lato della fibra, è indicato come un limite della schiuma.

Se si confronta l'applicazione tradizionale di un bagno con l'applicazione della schiuma si nota che questa ultima è più complessa.

Per l'applicazione convenzionale sono necessarie solo tre fasi prima del fissaggio, mentre l'applicazione della schiuma ne richiede cinque.

Le fasi di lavorazione di un bagno in continuo sono:

con SCHIUMA CONVENZIONALE

BAGNO DI TINTURA

FORMAZIONE

SCHIUMA NEL BAGNO

APPLICAZIONE BAGNO DI TINTURA

RACCLATURA, VERSAMENTO,

FOULARDAGGIO

VERSAMENTO

FOULARDAGGIO

DRENAGGIO SCHIUMA

FISSAGGIO COLORANTI

I campi di impiego della tecnologia della schiuma nella nobilitazione sono nel finissaggio, nella tintura e nella stampa.

Finissaggio. L'impiego della schiuma con risultati accettabili di uniformità degli effetti desiderati si ha nel :

- finissaggio a resina
- finissaggio di stabilità dimensionale e antipiega
- finissaggio antifiamma

- ammorbidimento
- finissaggio antistatico
- miglioramento della mano
- candeggio ottico
- finissaggio soil-release
- finissaggio idrofilo.

I vantaggi ottenibili rispetto al finissaggio tradiziona
le sono:

- risparmio di energia
- risparmio di prodotti chimici
- aumento della velocità di asciugamento
- diminuzione della migrazione
- impiego nell'applicazione a bagnato su bagnato
- impiego su tessuti a struttura senza deformazione

Per ottenere risultati soddisfacenti devono essere garan
tite le seguenti condizioni:

- stabilità e perciò riproducibilità della schiuma
- la penetrazione uniforme nella struttura della fi
bra quindi
- l'uniformità

Per la tintura l'impiego della tecnologia della schiu
ma è più complessa, perchè è necessaria una uniforme di=
stribuzione del bagno nella struttura della fibra.

I vantaggi ottenibili sono analoghi a quelli del finis=
saggio, tenendo conto delle prescrizioni d'impiego.

Poichè in una tintura differenze di dosaggio inferiori
al 5% danno già visibili differenze dell'intensità di
tinta, l'impiego della schiuma in continuo è più diffi=
coltoso che nel finissaggio.

Un esempio di impiego con successo della schiuma si ha
nella tintura delle moquettes, dove per una minore mi=
grazione del colorante si ha una diminuzione delle bar
rature.

Altri impieghi si hanno nella tintura dei tessuti imita
zioni di pellicce e negli articoli di arredamento.

Dipenderà dai futuri sviluppi la portata dell'impiego
della tecnologia della schiuma per tappeti e tessuti con
venzionali.

Si stanno cercando nuove soluzioni per tingere altri ar
ticoli con la schiuma, per i quali non sono stati ancora
risolti alcuni problemi dovuti alla migrazione nei proce
dimenti in continuo tradizionali.

Nella stampa tessile gli eventuali possibili campi di
impiego sono:

- stampa con pigmenti
- stampa di tappeti

- stampa con coloranti solubili

- stampa con coloranti dispersi.

Per la stampa a pigmenti sono già state elaborate diverse formulazioni promettenti, poichè la schiuma in buona parte può assumere la funzione addensante o dell'emulgatore.

Molto promettente è anche l'impiego nella stampa dei tappeti, poichè con basse concentrazioni di coloranti si può lavorare con quantità d'acqua inferiori e quindi viene eliminato l'asciugamento intermedio.

La stampa con coloranti solubili e/o dispersi per il momento non dovrebbe essere realizzata a causa dell'elevata concentrazione del colorante, dell'impiego di dispersanti e per la quantità di addensante necessaria per lo asciugamento intermedio.

Dopo aver esaminato gli aspetti tecnici dell'applicazione della schiuma risulta utile dare uno sguardo allo aspetto economico dell'innovazione.

Si è già scritto che parallelamente alla diminuzione del bagno applicato si ottengono riduzioni dei costi energetici e si aumenta la velocità della macchina e quindi la produzione.

I principali costi sono quelli sostenuti per le mac-

chine e per il personale, che possono essere ridotti con l'aumento di produzione; ulteriori riduzioni di costi con l'applicazione della schiuma si hanno grazie alla diminuzione della capacità di riscaldamento dell'asciugatore.

Il confronto dei costi dei diversi procedimenti di tintura dei tappeti offre la possibilità di mettere in evidenza la competitività della schiuma rispetto alla tintura in continuo, che richiede una quantità di bagno elevato.

Come base per il confronto viene scelto un procedimento in continuo con un assorbimento del bagno del 500% e un'applicazione della schiuma con un assorbimento del bagno del 150%.

Presumendo una produzione annua di 3 milioni di m², utilizzando la schiuma invece della tintura in continuo, si hanno dei risparmi in:

- vapore	1000 t
- imbibenti	4,5 t
- addensanti	7,5 t
- coloranti	1,5 t

Nella fig. 4.3 vengono messi a confronto diretto diverse tecniche di tintura, si può notare la differenza dei co-

sti fra schiuma e tintura in continuo.

Inoltre si nota che la tecnologia della schiuma non raggiunge il basso livello di costi del procedimento di stoccaggio a freddo (circa 24 ore) per tappeti, poichè con questo sistema i costi d'acqua e di energia sono ancora estremamente bassi mentre in futura risulteranno sempre più significativi.

4.1.1.2 Sistema triatex - MA

Il sistema triatex - MA realizza la minima applicazione attraverso un assorbimento di bagno, senza immersione totale del tessuto, per mezzo di un rullo applicatore che è composto da un rullo di acciaio e da uno speciale rivestimento in gomma. (fig.4.4).

Il bagno di finissaggio forma un film liquido sul rullo applicatore e viene assorbito dal tessuto al momento del contatto.

La quantità di finissaggio applicata viene controllata mediante

- la concentrazione del bagno
- la velocità del rullo applicatore.

Il controllo è una necessità per ottenere un finissaggio uniforme, per cui è molto importante la capacità di con-

trollare la quantità di finissaggio che viene applicata.

Il sistema Triatex-MA è fornito di due strumenti di controllo a raggi β che misurano il peso del tessuto prima e dopo l'applicazione del finissaggio.

Questo sistema di controllo consente al finitore di cambiare il peso del tessuto e di mantenere la stessa quantità di assorbimento di bagno senza fermare la macchina asciugatrice (Rameuse) purchè la formulazione di finissaggio rimanga la stessa.

Nel caso si rendesse necessario un diverso assorbimento, esso può essere raggiunto senza alcuna interruzione, ma semplicemente agendo sul selettore dell'assorbimento.

Il sistema Triatex-MA opera indipendentemente dalla velocità della Rameuse, è quindi possibile installare dei misuratori di umidità su di essa per controllare il contenuto di umidità residua e quindi poter variare la velocità del tessuto nella rameuse.

Le velocità delle rameuse sono state aumentate del 50% e poichè alcune di esse non consentivano di realizzare questi aumenti, i risparmi di energia sono stati conseguiti abbassando le temperature all'interno della rameuse.


Il risparmio di energia e di prodotti chimici e l'aumento di produzione risultano interessanti.

I risparmi di prodotti chimici vanno dal 20 al 30%.

Le tabelle che seguono sono state compilate dalla stessa società che costruisce le macchine di minima applicazione; in esse si nota il risparmio conseguibile con tessuti che hanno un peso diverso.

Informazioni TRIATEX-MA, TXI 3340.01


Senza misurazione/regolazione aumentano le spese annuali di esercizio!

assorbimento nominale:	35 %
assorbimento effettivo:	38.5 % =
	10 % spreco
	
. 3 mio m :	24'000.- DM
. 5 mio m :	40'000.- DM
. 10 mio m :	80'000.- DM

ammortizzazione: 35'000.- DM
(MA-E2, 7 anni)

Dati per 100% CO-camicie, 150 cm, 170 g/m lineare,

Senza misurazione/regolazione aumentano le spese annuali di esercizio!

assorbimento nominale:	30 %
assorbimento effettivo:	33 %
	10 % spreco
	
. 3 mio m :	51'000.- DM
. 5 mio m :	85'000.- DM
. 10 mio m :	170'000.- DM
<hr/>	
ammortizzazione:	35'000.- DM
(MA-E2, 7 anni)	

Dati per 65/35% PL/CO abiti di lavoro, 160 cm, 350 g/m lineare,

4.1.2 Essiccatoi a Radio frequenza.

L'essiccatoio a radio frequenza è un nuovo sistema di asciugatura di prodotti tessili.

Le fibre tessili, in questa apparecchiatura, vengono riscaldate non da agenti esterni quali aria calda o vapore, ma dal calore dovuto all'attrito che si crea fra le molecole d'acqua che oscillano rapidamente sotto l'effetto del campo elettromagnetico.

Il risparmio di energia sta nel fatto che il calore è sviluppato direttamente sull'umidità del materiale e solo una piccolissima percentuale viene spesa per riscaldare il materiale tessile.

Infatti solo i materiali polari o polarizzabili formati da molecole con una certa libertà traslazionale e/o rotazionale, come l'acqua o le soluzioni saline possono subire il riscaldamento per attrito mentre i materiali tessili, data la rigidità della loro struttura e la lunghezza della loro catena molecolare, si riscaldano debolmente.

Ci sono tecnologie differenti usate per il riscaldamento con frequenza radio, benchè il meccanismo del ri-

Table I Energy usage and operational costs incurred by different yarn package drying machines

Assumptions:
 Rapid dryer TVK holding capacity 250 kg/h Motor 90 kW
 Pressure dryer THD holding capacity 250 kg/h Motor 90 kW
 High-Frequency dryer HF evaporative capacity 75 kg/h Load 60 kW
 Centrifuge RZB output 250 kg/h Motor 10 kW
 Electricity tariff 12 Rp/kWh
 Steam costs Fr. 40.—/ton, 6 bar $1 \text{ Rp} = 4/100 \text{ Fr. Sfr.}$
 Cooling water Fr. 1.50/m³
 Compressed air 15 Rp/m³, 6 bar
 Viegold bobbins 800 g (plastic holders)
 Relative moisture after treatment in the centrifuge relative to the moisture content with which the fibres are commercially supplied
 Wool 45:18 % Cotton 55:8 % Polyester 10:2 %

		Wool	Cotton	Polyester
Rapid dryer TVK				
Drying time for 250 kg	h	1.7	3.0	0.9
Power usage	kW h/kg	0.60	0.95	0.27
Steam usage	kg/kg	1.50	2.60	1.10
Energy costs	Rp/kg	13.20	21.80	7.64
Pressure dryer THD without heat recovery				
Drying time for 250 kg	h	0.9	1.1	0.6
Power usage	kW h/kg	0.30	0.35	0.20
Steam usage	kg/kg	1.30	2.0	1.0
Cooling water usage	l/kg	10	14	8
Compressed air usage	m ³ /kg	0.01	0.01	0.01
Energy costs	Rp/kg	10.45	14.45	7.75
Pressure dryer THD with heat recovery, about 80 %				
Energy costs	Rp/kg	3.15	4.05	2.25
High-frequency dryer HF, 60 kW without heat recovery				
Drying time for 250 kg	h	1.5	1.8	0.43
Power usage, dryer	kW h/kg	0.75	0.93	0.22
Cooling water usage	l/kg	6	7	1.75
Power usage, centrifuge	kW h/kg	0.04	0.04	0.04
Energy costs	Rp/kg	10.50	12.70	3.38
High-frequency dryer, HF, 60 kW with heat recovery, about 55 %				
Power usage, centrifuge	kW h/kg	0.04	0.04	0.04
Energy costs	Rp/kg	6.70	8.10	2.26

(fonte: STEINER, T.P.I., 5 / 1983)

Table II Operating expenses per kg of goods to be dried in Rp/kg 2-shift operation 17 hours a day, 250 days per year

	Wool				Cotton				Polyester						
	TVK		THD		HF		TVK		THD		HF				
	without HR	with HR	without HR	with HR	without HR	with HR	without HR	with HR	without HR	with HR	without HR	with HR			
Energy costs	13.20	10.45	3.15	10.50	6.70	21.80	14.45	4.05	12.70	8.10	7.64	7.75	2.25	3.38	2.26
Interest on capital	4.15	4.98	4.98	6.65	6.65	8.29	5.81	5.81	8.37	8.37	2.37	3.32	3.32	1.96	1.96
Maintenance costs	1.02	1.42	1.42	1.85	1.85	2.04	1.66	1.66	2.26	2.26	0.58	0.95	0.95	0.53	0.53
Holder wear	—	—	—	0.71	0.71	—	—	—	0.87	0.87	—	—	—	0.20	0.20
Labour costs	17.0	9.71	9.71	14.17	14.17	34.0	11.33	11.33	17.30	17.30	19.43	12.95	12.95	12.17	12.17
Operating expenses	35.37	26.56	19.26	34.05	30.28	65.13	33.25	22.85	41.50	36.90	30.02	24.97	19.47	18.24	7.14
Operators required per shift	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1.5	1.5
Drying capacity per shift/kg	1000	1750	1750	1200	1200	500	1500	1500	1000	1000	1750	2625	2625	4150	4150

HR = heat recovery

Un'importante casa costruttrice, Babcock Textil machine, ha presentato all'ultima esposizione internazionale del macchinario tessile le sue rameuse Artos/Famatex con due straordinarie innovazioni:

- Il nuovo sistema di conduzione dell'aria ECON-ARIA per l'essiccatoio.
- Il nuovo sistema ad ugelli STAR-JET per l'essiccatoio.

Si ricorda che la macchina rameuse è usata nel finissaggio per l'operazione di essiccazione a 130÷150°C e termofissaggio a 200÷220°C.

I vantaggi tecnologici che si ottengono dal sistema Econ-Air sono alta qualità del tessuto e risparmio di energia.

Il sistema opera con una conduzione centralizzata della aria fresca e con presa centrale dell'aria di scarico, il cui volume viene regolato automaticamente attraverso una misura della sua umidità; nelle rameuse attualmente in uso l'aria fresca è fatta entrare da bocche esistenti lungo le pareti laterali della macchina (che talvolta raggiunge lunghezze anche di 100 m) mentre l'aria calda esausta viene espulsa da più camini presenti in punti diversi, ed inoltre normalmente non viene effettuato al-

cun controllo sull'umidità dell'aria espulsa.

La fig.4.5 descrive il funzionamento di questo sistema.

Nel nuovo sistema ad ugelli Star-Jet per l'essicca-
toio gli ugelli d'aria sono sistemati intorno agli al-
beri dell'aria di ritorno allo scopo di prevenire la
formazione di uno strato d'aria "usata" sfuggente lungo
il tessuto, il quale tenderebbe ad impedire all'aria pu-
lita e riscaldata di venire a contatto con il tessuto.
(fig.4.6).

L'eliminazione di questo inconveniente aumenta grande-
mente l'efficacia dell'evaporazione.

Ad ogni ugello della parte inferiore ne corrisponde uno
nella parte superiore e i due pozzetti di scarico del-
l'aria sono installati uno sopra l'altro.

I flussi dell'aria dei due corpi, che lambiscono la pez-
za, non creano su questa alcuna forza essendo contrappo-
sti.

Nella fig.4.7 è evidenziata la distribuzione dei pozzet-
ti di scarico dell'aria con i relativi ugelli di due cam-
pi della rameuse.

I vantaggi che si hanno con questi due sistemi sono sin-
tetizzabili con:

- riduzione del consumo totale della rameuse

a regimi medi di funzionamento (75% della sua po-
tenzialità), sono dell'ordine del 15% nell'asciu-
gatura e fino al 35% nel termofissaggio.

4.2.2 Nuovo spremitore per maglie tubolari.

La spremitura è una fase determinante per il conse-
guimento di alti risparmi energetici.

Qualsiasi prodotto tessile prima di essere asciugato do-
vrebbe essere spremuto in modo da rendere minimo il suo
contenuto di acqua da evaporare.

Purtroppo la spremitura è un'operazione che non tutti i
prodotti tessili possono superare senza che ne venga com-
promessa la qualità.

Fra questi è, o meglio era, da inserire la maglia tubola-
re che per la sua caratteristica intrinseca dopo la spre-
mitura fra due rulli su di essa rimanevano le pieghe dei
bordi.

Il nuovo spremitore brevettato, della CIATTI, è stato
studiato in modo da eliminare del tutto la compressione
dei bordi del tubolare di maglia.

In questa nuova macchina vi sono due gruppi spremitori,
anzichè uno come nelle macchine tradizionali, in modo

che durante la prima spremitura i bordi della maglia tubolare non passano attraverso i cilindri di spremitura. I rulli sono dimensionati in modo da non coprire interamente il tubolare e nel caso questo fosse più corto dello standard la spremitura è comunque possibile grazie allo scorrimento che può aversi fra i due rulli che risulteranno sfalsati con i bordi non corrispondenti, così la spremitura non interesserà tutta la maglia.

Durante il secondo passaggio viene spremuta la parte non disidratata nel primo e anche qui i bordi sono liberi ed insufflati di aria compressa.

Lo sviluppo futuro di questo sistema è previsto nelle tinture in continuo pad batch a fredda e soprattutto per la maglia tubolare di cotone e misto cotone.

Nella tintura si ottiene il doppio vantaggio di non macerare le pieghe e di evitare un maggiore residuo di colorante nelle zone di piegatura e quindi viene evitata una probabile barratura di colore.

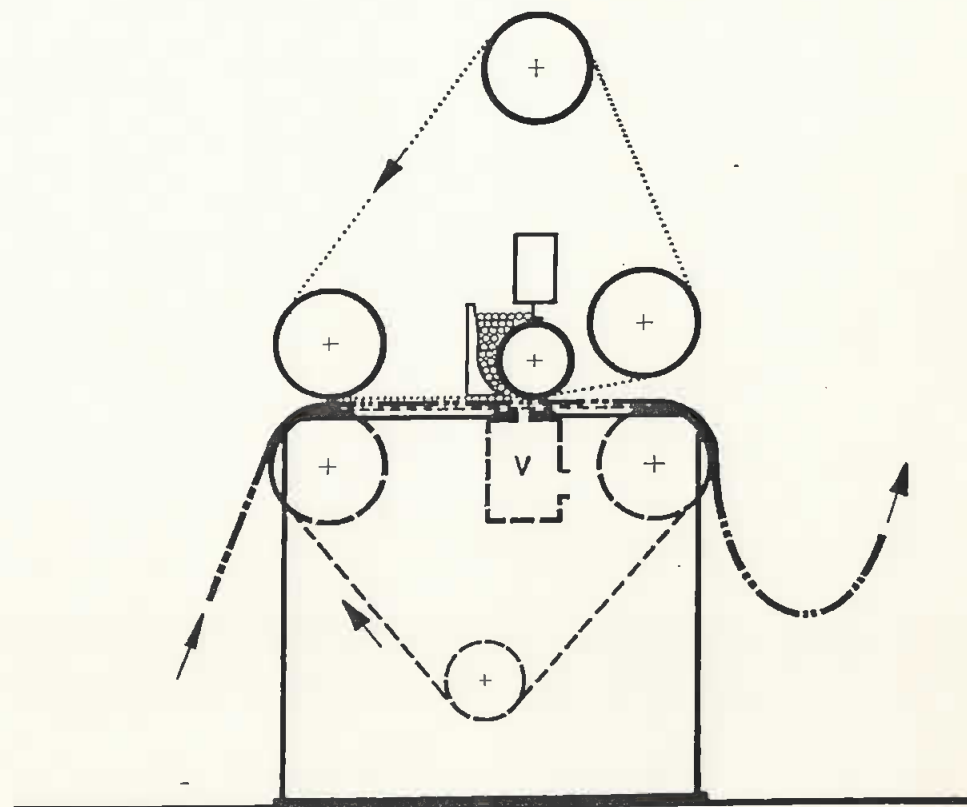


Fig. 4.1

Fig. 4.2 Applicazione del bagno e valori di acqua per il riordinamento

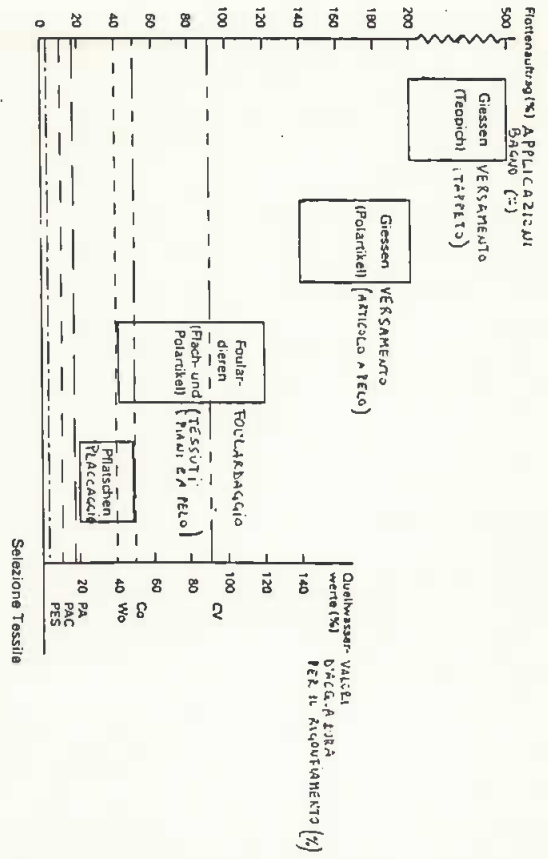


Fig. 4.3- Confronto costi tra alcuni procedimenti di tintura di tappeti

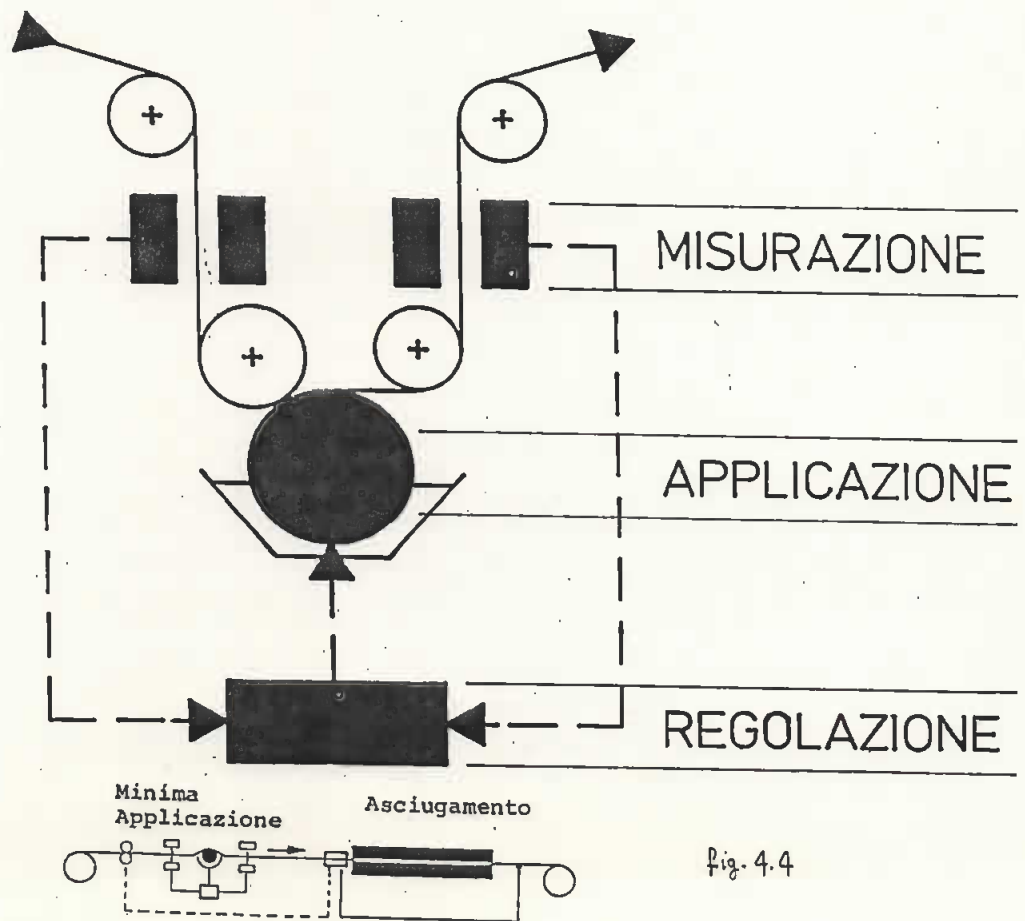
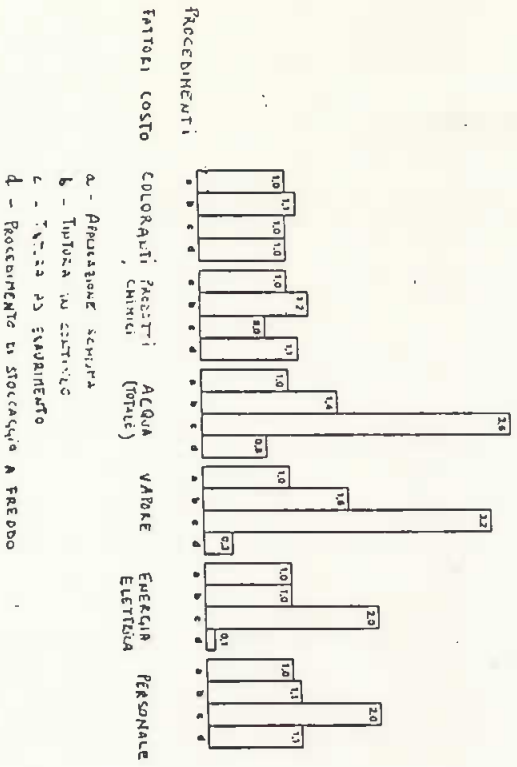


Fig. 4.4

Fig. 4.5

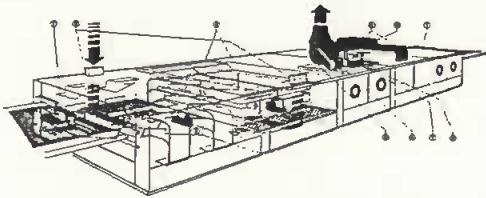


Fig. 4.6

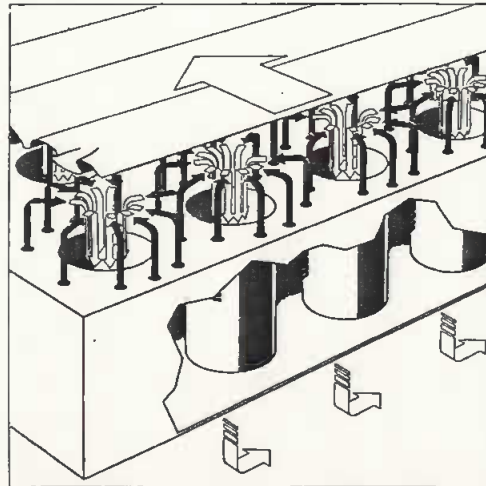
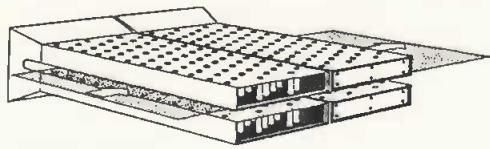


Fig. 4.7



Selezione Tessile

5. INTERVENTI ATTUATI IN DUE AZIENDE

5.1 Industria filati tessuti F.lli CRESEPI Spa.

La società CRESEPI è un'industria di Filati e Tessuti di cotone che occupa 400 dipendenti.

Il primo nucleo aziendale risale al 1871.

Attualmente la società si sviluppa su una superficie coperta totale di circa 28.000 m² con un volume di 198000 m³, suddivisi in due stabilimenti nei due paesi vicini di Fara Novarese e Ghemme (NO).

Nel primo stabilimento si trovano il magazzino delle materie prime, (fiocchi di cotone importato da USA, Egitto e altri paesi), i reparti di preparazione fibre e filatura.

Nel secondo stabilimento si trovano i reparti di orditura e imbozzimatura, tessitura, tintoria e finissaggio, nonché magazzini di prodotto finito.

La produzione suddivisa per reparti dell'anno 1983 è stata:

filatura	2700	t/a
orditura e imbozzimatura	1380	"
tessitura	2100	"
tintoria e finissaggio	1700	"

Non tutto il prodotto della filatura è usato nelle fasi

successive, infatti una parte di questo viene venduto, mentre per la tessitura viene acquistato filato con caratteristiche diverse da quello prodotto internamente a causa del processo di diversificazione del prodotto in atto.

Nell'anno 1983 il fatturato della società è stato di circa 35 Miliardi L.

Il consumo energetico si articola su tre fonti: olio combustibile - metano - energia elettrica.

L'energia termica generata è stata ottenuta dalla combustione di :

olio comb.	1213 t	pari a	$48,68 \cdot 10^6$ MJ	37,13%
metano	$2,3 \cdot 10^6$ m ³	pari a	82,43 "	62,87%
		totale	131,11 "	100,00%

Il consumo di energia termica si può così suddividere:

reparto tintoria e finissaggio		$73,96 \cdot 10^6$ MJ	73,35%	
reparto imbozzimatura	10,21	"	10,13%	
riscaldamento e condizionamento	16,66	"	16,52%	
	totale	100,8	"	100,00%

Il rendimento termico ottenuto dal rapporto tra l'energia termica fornita all'utenza termica e il consumo globale

di energia termica è :

$$\eta = 76,88\%$$

Inoltre sono stati prodotti nell'unica centrale termica esistente 44'302 t di vapore (a 42 kg/cm² surriscaldato a 440 °C), così distribuiti :

tintoria	30 684 t	69,26%	
imbozzimatura	5052 "	11,40 "	
riscaldamento e condizionamento	8338 "	18,82 "	
turbina a condensazione	228 "	0,52 "	
	totale	44302 t	100,00 %

I costi sostenuti per la produzione di energia termica comprensivi delle spese per personale e manutenzione sono stati di circa 1,121 Miliardi L.

Il costo medio del kg di vapore prodotto risulta di 25,3 L.

L'energia elettrica utilizzata dall'azienda è quasi totalmente autoprodotta. Infatti la società dispone di cinque centrali idroelettriche, con una potenza installata complessiva pari a 3.200 kW. Inoltre nella centrale termica sono installati quattro gruppi turboalternatori termoelettrici per una potenza complessiva di 2650 kW.

Una delle centrali idroelettriche, della potenza di 1300 kW, è collegata in parallelo alla linea di distribuzione dell'ENEL, in modo che, quando si verificano eccessi di potenza disponibile, l'energia elettrica è venduta all'ENEL. Quando invece il fabbisogno elettrico dell'azienda non risulta coperto dalla energia idroelettrica autoprodotta vengono fatti funzionare i gruppi termoelettrici e nel caso anche questi non bastassero si può prelevare energia dall'ENEL.

Se in futuro risulterà conveniente vendere anche energia termoelettrica all'ENEL, penso che, anche in momenti di eccesso di potenza idroelettrica, verranno fatti funzionare i gruppi termoelettrici aumentando così la loro produttività.

Nel 1983 sono stati consumati $11,1 \cdot 10^6$ kWh mentre quelli disponibili sono stati :

Energia idroelettrica	23,60	$\cdot 10^6$	kWh
Energia termoelettrica	0,80	"	
ENEL (acquistati)	0,10	"	
per un totale di	24,50	"	.

Per la produzione dell'energia elettrica sono stati spesi totalmente 525,3 ML. (compresi gli ammortamenti) mentre i proventi della vendita all'ENEL sono stati di

502,8 ML. (41,76 L./kWh).

I consumi energetici per 1 kg di prodotto calcolati per reparto risultano essere:

Reparti	Energia el.	Olio comb.
Filatura	1,8 kWh/kg	0,05 kg olio/kg
Tessitura	1,56 "	0,25 "
Tintoria	1,10 "	1,1 "

L'alto consumo di vapore in tintoria è principalmente dovuto al processo discontinuo di tintura, per il quale è in corso uno studio di recupero energetico dalle acque calde di scarico delle macchine di tintura.

L'intervento di recupero si presenta piuttosto difficile sia per le difficoltà impiantistiche che per la natura discontinua del processo.

Un intervento invece già attuato in tintoria è stato la installazione di un recuperatore rotante attraversato dalle acque calde di scarico provenienti dalla macchina di preparazione dei tessuti alla tintura. In questa macchina vengono effettuati i processi di lavaggio, sboccatura, purga e candeggio in 7 vasche in cui scorrono in controcorrente al tessuto $17 \text{ m}^3/\text{h}$ di acqua alla temperatura media di 86 °C.

L'energia termica è utilizzata per preriscaldare i $17 \text{ m}^3/\text{h}$
d'acqua necessari ai processi da $22 \text{ }^\circ\text{C}$ a $62 \text{ }^\circ\text{C}$.

Il recupero energetico in un'ora è

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T = 17 \cdot 1 \cdot 40 = 680000 \text{ Kcal/h}$$

che espresso in termini di L. è

$$\text{Ris/h} = \dot{Q} (\text{Kcal/h}) \cdot \text{CC(L./Kcal)} = 680000 \cdot 0,056 = 38080 \text{ L./h}$$

(per questi calcoli sono stati utilizzati i dati rilevati
il 7/XI/1984).

Il risparmio che è stato ottenuto dal febbraio '83, quan-
do è stato installato il recuperatore, alla fine '83 ri-
sulta:

Acqua preriscaldata	24400 m^3
ΔT medio	$45 \text{ }^\circ\text{C}$
Calore recuperato	$4,59 \cdot 10^6 \text{ MJ}$
Olio comb. risparmiato	(pci $40,12 \text{ MJ}$; $\eta = 0,76$) $149,3 \text{ t}$
L. risparmiate	($271,34 \text{ L./kg}$ olio) $40,5 \text{ ML}$.

Il costo sostenuto per l'investimento è stato di circa
 $18,6$ milioni L.

Il "payback period" è stato di $\text{FBP} = 18,6/40,5 = 0,46 \text{ me}$
si su dieci mesi, per cui il recuperatore in circa 5 mesi
si è ripagato.

Il reparto di tintoria è fornito di un laboratorio in
cui vengono preparate le ricette del colore attraverso un
sistema di ricettazione completamente automatizzato.

Il sistema, della ditta ACS (Applied color system) è compo-
sto da uno spettrofotometro (che legge il colore dalla
pezza campione), una unità centrale per la elaborazione
dati, uno schermo e una stampante.

Esso consente la formulazione della ricetta del colore
(4-5 coloranti base) in un tempo molto breve, aumentando
quindi la produttività del laboratorio, la memorizzazione
della ricetta riferita al cliente che l'ha richiesta, la
misurazione delle differenze di colore tra quello richie-
sto e quello ottenuto dal processo di tintura.

Con i dati relativi alla misurazione della differenza di
colore è possibile correggere il colore del tessuto attra-
verso trattamenti di tintura con minime applicazioni di
coloranti, consentendo quindi di avere un livello stan-
dard di qualità ed anche un risparmio di risorse (energia,
acqua da trattare, coloranti).

Le macchine installate nel reparto di finissaggio che
hanno il maggiore consumo di energia sono:

n. 1 Rameuse Artos installata nell'anno 1969 usata per
asciugare il tessuto.

n. 1 Rameuse Monforts dell'83 in cui il tessuto è trattato con prodotti chimici di finissaggio e poi asciugato. La logica di gestione energetica usata per questa macchina è quella di ottimizzare il processo prima di recuperare gli sprechi energetici.

Infatti sulla macchina più vecchia, ARTOS, è stato installato un rivelatore che controlla la percentuale di umidità del tessuto all'uscita, che non deve essere mai al di sotto dell' 8%, valore di umidità naturale del cotone in condizioni ambientali.

Sono state effettuate su questa macchina prove di consumo con due tessuti diversi di cui vengono presentati i risultati ottenuti.

RAMEUSE ARTOS : Prova di consumo termico.

tessuto	MOLESVINE (480 g/m - 320 g/m ²)	LEVANTINA (260 g/m - 173,3 g/m ²)
- Velocità nominale (m/l')	22	73
- Quantità tessuto asciugato (m)	1737	2200
- Tempo reale della prova (l')	78,08	30,98
- Velocità reale media (m/l')	22,245	71,551
- Quantità di acqua evaporata (kg)	907	379
- Consumo di vapore (5,6 ata/sat.) (kg)	1600	570

- kg vapore / kg acqua evaporata	1,7641	1,504
- kg vapore / m di tessuto	0,9211	0,2568
- Consumo di energia termica (calore latente 2,1 MJ/kg)		
C_1 : netto alla macchina (MJ/kgH ₂ O)	3,70	3,15
$C_2 = C_1 / 0,766$: totale in Centrale termica (MJ/kg H ₂ O)	4,83	4,12

La Rameuse MONFORTS è fornita dell'apparecchio per il risparmio energetico ECOMAT tipo AML 7.

Questo apparecchio controlla l'umidità dell'aria esausta regolando la posizione delle serrande di uscita dai camini dell'aria consentendo così di diminuire il consumo specifico per kg di acqua evaporata o per kg di tessuto trattato.

Infatti un limite superiore di umidità, valido per il campo di temperature dell'aria nella macchina (100;140 °C), può essere considerato il raggiungimento di circa 100;120 g di acqua per kg di aria secca.

L' ECOMAT in sostanza garantisce il raggiungimento di una prefissata umidità dell'aria regolando la portata di quest'ultima in funzione dell'esigenza istantanea di produzione.

Un ulteriore risparmio energetico si ottiene nei transito

ri, da Rameuse ferma a regime, infatti all'inizio di ogni interruzione l'Ecomat chiude completamente le serrande degli esaustori per non fare uscire l'aria calda necessaria per scaldare l'ambiente dell'essiccatoio e nel caso ci fosse una interruzione momentanea del ciclo non si avrebbe che un minimo di abbassamento di temperatura nella rameuse, riducendo così l'inerzia termica.

Oltre al sistema ECOMAT sulla rameuse Monforts è installato un dispositivo analogo a quello installato sull'ARTOS che controlla il contenuto di umidità del tessuto.

Questo non deve scendere al di sotto del tasso normale di ripresa del tessuto (8% per il cotone).

L'apparecchio in questo caso agisce sul meccanismo di trascinamento del tessuto regolandone la velocità, fino ad ottenere in uscita un tessuto con il grado di umidità desiderata.

Altri interventi che possono essere classificati come gestionali sono stati effettuati nell'ambito della centrale termica, recuperando il calore contenuto nei gas di scarico del degasatore, e migliorando la "Flash evaporation" delle condense, utile per preriscaldare l'acqua di mandata alla tintoria.

Il generatore di vapore della "IMPIANTI IDROTERMICI", del

la potenzialità di 20 t/h di vapore a 450 °C e 42 bar, può essere alimentato sia con olio combustibile che con gas metano acquistato dalla SNAM.

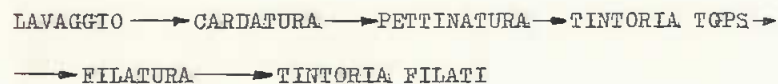
Per far fronte alle richieste tecniche aziendali di solito il generatore è alimentato a metano, integrato da olio nei momenti di maggiore richiesta. Questo per saturare pienamente il contratto SNAM e per evitare picchi di richiesta di gas.

Il rendimento diretto del generatore che viene misurato, attraverso una procedura che in futuro sarà automatizzata, con frequenza prestabilita dal piano annuale di manutenzione, risulta di circa 87% ad un carico medio del 42%. Questo mette in evidenza ancora una volta la buona e accurata gestione della risorsa energia, pur non essendo risorsa critica, da parte della società F.lli CRESPI.

5.2 Filatura di Grignasco.

La Filatura di Grignasco produce filati pettinati in lana pura o mista con altre fibre. Impegna 1000 dipendenti in tre turni di lavoro su ciclo produttivo completo dal lavaggio della lana sucida alla filatura.

Il ciclo di lavorazione può essere sommariamente schematizzato così:



La produzione di filati prevista per l'anno '84 sarà di circa $4,0 \cdot 10^6$ kg con un presunto costo energetico pari a 2,4 miliardi L.

Il costo percentuale di 1 kg di filato è così composto:

materie prime	45-50%
manodopera	27%
energia	3%
altri costi	25-20%

Il costo energetico risulta composto per il 55% da energia elettrica e per il 45% da energia termica.

L'energia elettrica è per il 57% ($9 \cdot 10^6$ kWh) acquistata dall'ENEL mentre la restante parte ($8 \cdot 10^6$ kWh) è autoprodotta con impianti idroelettrici. Inoltre sono stati ven-

duti all'ENEL $2 \cdot 10^6$ kWh nei momenti in cui la produzione di energia elettrica è stata maggiore del fabbisogno aziendale.

L'energia termica è prodotta per la quasi totalità bruciando metano ($50 \cdot 10^6$ m³), la restante parte (5 ÷ 7%) è ottenuta da olio combustibile.

I consumi energetici riferiti ad 1 kg di prodotto risultano:

Fasi di lavorazione	Energia EI.	Olio comb.
lavaggio e pettinatura	0,6 kWh/kg	0,44 kg olio/kg
tintoria e lisciatura	1,2 "	0,52 "
filatura	2 "	"

Pur non avendo un costo energetico fortemente incidente sul costo complessivo del prodotto, la società tende a minimizzare il costo energetico attraverso un adeguato sistema di misura che va dal semplice apparecchio di controllo installato sulla macchina alla verifica del budget energetico annuale. Infatti anche se l'incidenza percentuale risulta contenuta, il costo energetico è pur sempre di circa 2,5 miliardi.

La Filatura di Grignasco già da tempo pone attenzione al problema della gestione energetica, infatti nel 1981

ha fatto eseguire alla FIAT ENGINEERING una analisi energetica nei suoi stabilimenti e tra gli interventi proposti sono stati realizzati i seguenti:

- a) controllo automatico della combustione dei generatori di vapore in centrale termica
- b) recupero calore di acqua calda di scarico del lavaggio
- c) raffreddamento dell'acqua calda delle vasche di tintura con serpentini di acqua fredda.

a) Centrale termica.

La potenzialità nominale installata in C.T. è di 36 t/h di vapore a 15 ata ripartito fra i seguenti generatori di vapore:

- N. 1 IMPIANTI IDROTERMICI 12 t/h a 15 ata
viene utilizzato tutto l'anno con regolazione manuale, impiega metano ed è dotato di preriscaldatore dell'aria comburente.
Anno di costruzione 1964.
- N. 1 CARIMATI 15 t/h a 15 ata
viene utilizzato nel periodo invernale, impiega olio combustibile e non è dotato di preriscaldatore dell'aria.
- N. 1 IMPIANTI IDROTERMICI 9 t/h a 15 ata.

viene usato solo in media stagione per 4 mesi all'anno con regolazione manuale, impiega olio combustibile ed è dotato di preriscaldatore di aria.

Prima dell'intervento la regolazione manuale dei generatori di vapore veniva effettuata facendo variare la portata di combustibile secondo il carico richiesto lasciando inalterata la portata d'aria comburente regolata alla massima portata di combustibile. Questo comportava un abbassamento del rendimento ai bassi regimi di carico. Nelle prove effettuate il rendimento variava tra 75,5% a bassi regimi e 89,7% a pieno carico mentre il valore previsto dalle condizioni ottimali di combustione ($\% O_2 = 4$, $\% CO_2 = 20$) è di circa il 91%.

Per valutare il risparmio conseguibile con un controllo automatico della combustione è stata fatta l'ipotesi che il tenore di ossigeno si mantenga inferiore a 5% anche nelle condizioni di basso carico termico così che il rendimento risulti sempre del 91%. E' stato stimato attraverso prove che per il 25% dei consumi di nafta (Q'_{OG}) e il 15% dei consumi di metano (Q'_M) si operava con caldaie a rendimento pari al 75,5%, mentre a pieno carico i rendimenti erano per la nafta 89,7%

e per il metano 89,2%.

La formula che dà il risparmio di combustibile (R) in seguito al miglioramento del rendimento è:

$$R = Q \left(1 - \frac{\eta}{\eta_{ott}} \right)$$

ove Q è la quantità di combustibile consumata al rendimento η e η_{ott} è il rendimento ottimale.

Fissate le quantità di combustibile bruciato, che per l'anno in esame sono state :

Olio combustibile $Q_{OC} = 488,6$ t/a (o.c. : 40,60 MJ/kg)

Metano $Q_M = 3836$ 10^3 m³/a (metano: 36,62 MJ/m³)

$$Q_{tot} = Q_{OC} + Q_M = 3948 \text{ t.o.c/a}$$

si ricava

per l'Olio combustibile

$$Q'_{OC} = 0,25 Q_{OC} = 122,15 \text{ t/a}$$
$$R'_{OC} = Q'_{OC} \left(1 - \frac{0,755}{0,91} \right) = 20,8 \text{ t/a}$$

$$Q''_{OC} = 0,75 Q_{OC} = 366,45 \text{ t/a}$$

$$R''_{OC} = Q''_{OC} \left(1 - \frac{0,897}{0,91} \right) = 5,2 \text{ t/a}$$

un risparmio $R_{OC} = 26,04$ t/a

e per il Metano

$$Q'_M = 0,15 Q_M = 575,4 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$$
$$R'_M = Q'_M \left(1 - \frac{0,755}{0,91} \right) = 98 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$Q''_M = 0,85 Q_M = 3260,6 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$R''_M = Q''_M \left(1 - \frac{0,892}{0,91} \right) = 64,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$$

un risparmio $R_M = 162,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{a} = 146,57 \text{ t.o.c/a}$

Il risparmio annuo totale di combustibile è :

$$R = R_{OC} + R_M = 172,6 \text{ t.o.c/a}$$

che in termini percentuali sul consumo totale risulta del 4,37%.

b) Lavaggio

L'impianto di lavaggio della lana allo stato sucido è composto da una batteria di 5 vasche, dentro le quali la lana, seguendo un percorso in controcorrente all'acqua di lavaggio, cede le impurità e l'eccesso di grasso.

La capacità totale delle vasche è di circa 34.000 lt di acqua, che è mantenuta ad una temperatura che varia tra i 45 °C e 60 °C tramite vapore diretto a 7 kg/cm^2 .

Lo scambio termico avveniva in uno scambiatore a miscelazione in cui viene riscaldata a 50° la portata di alimento di circa 6000 l/h che vengono immessi nell'ultima vasca da dove esce la lana.

In una delle vasche l'acqua è a 60 °C che sono ottenuti tramite vapore, proveniente dalla Centrale termica, in

sufflato direttamente nell'acqua.

Il recupero di energia termica è stato realizzato con l'installazione di uno scambiatore a piastre della ditta Jucker alimentato con una portata di acqua calda di scarico, relativamente pulita, di circa 4260 l/h alla temperatura media di 53 °C, che viene raffreddata a circa 20 °C preriscaldando la portata di alimento del sistema di lavaggio a circa 37 °C con un recupero di circa 114 t.o.c/a, cui corrisponde un risparmio annuo pari al 2,89% del consumo totale.

Le condizioni di funzionamento sono:

24 ore/g, 220 g/a, 0,67 il rendimento globale di produzione e distribuzione dell'energia termica.

Con l'intervento è stato disinserito dall'impianto lo scambiatore a miscela non più idoneo e con scarso rendimento.

c) Tintoria.

La tintoria è suddivisa in tre aree omogenee:

- tintoria in tops colorato
- tintoria in tops bianco e chiari
- tintoria in rocche

Il ciclo di tintoria dei tops colorati è differente a seconda dei coloranti che vengono usati.

Per coloranti al cromo la durata del ciclo è di circa 3,5 ore con un raffreddamento intermedio da 96 °C a 70 °C e successivo riscaldamento a $T = 96$ °C del bagno di tintura, mentre per coloranti premetallizzati la durata del ciclo di tintura è di circa 2,5 ore senza raffreddamento intermedio.

Il ciclo di tintura di tops chiari e bianco ha la durata media di circa 4,5 ore con raffreddamento intermedio da $T = 72$ °C a 20 °C e successivo riscaldamento fino a $T = 72$ °C.

Il ciclo di tintura dei fili su rocche ha la durata di circa 2 ore e una temperatura massima di $T = 99$ °C.

Prima dell'intervento le fasi di raffreddamento erano eseguite generalmente a miscelazione.

È stata studiata la possibilità di sostituire il raffreddamento a miscelazione con il raffreddamento indiretto. Questo è stato realizzato con un serpentino che attraversa il bagno caldo, in cui viene fatta circolare una portata d'acqua fredda la quale dopo essere stata riscaldata è rimessa in ciclo o in serbatoi di stoccaggio.

Si riportano nella seguente tabella i risparmi in tinta ottenuti con le stesse condizioni di funzionamento indicate nel lavaggio.

Reparto tintoria	TOPS COLORATI	TOPS CANDEGGIATI	ROCCHES	TOTALE
- Produzione (kg/g)	7350	5900	5500	18750
- Fabbisogno di acqua per bagno di tintura (m ³ /g)	117	70,2	55	219,2
- Acqua recuperata per raffreddamento indiretto (m ³ /g)	73,1	32,5	118	223
da T = 13,6 °C a temperatura (°C)	55	33	42	46
- Risparmi per raffreddamento indiretto (t.o.c/a)	102,4	21,3	113,4	237
(%)	2,68	0,64	2,97	6,2

Per un futuro molto prossimo la società Filatura di Grignasco intende potenziare la struttura di controllo e misura del consumo energetico con l'installazione di nuovi strumenti.

Inoltre i futuri investimenti saranno rivolti all'acquisto di tecnologia innovativa sia sotto l'aspetto energetico che produttivo.

La società intende anche installare una nuova turbina per aumentare la capacità di produzione dell'energia elettrica, e questo mette in evidenza che la società è interessata più che al recupero energetico ad una migliore gestione energetica.

5.3 Considerazioni conclusive.

Nei capitoli 3 e 4 sono stati descritti alcuni esempi di interventi attuabili per ottimizzare il consumo energetico dei vari processi produttivi.

Sono stati distinti due tipi di interventi: gestionali e impiantistici, sui quali si possono fare alcune considerazioni generali.

Fra gli interventi gestionali vanno inserite anche le azioni di sensibilizzazione rivolte al personale aziendale ai diversi livelli, la formazione di responsabili energetici, la stesura del bilancio energetico aziendale e infine tutte quelle misure che permettono una conoscenza delle strutture aziendali necessarie per individuare gli interventi da realizzare.

Se è possibile realizzare tali interventi gestionali utilizzando le risorse disponibili all'interno dell'azienda, si otterranno con limitati investimenti risultati più duraturi e facilmente controllabili.

Gli interventi di tipo impiantistico richiedono capitali di investimento maggiori rispetto a quelli gestionali e tanto più consistenti quanto più imponenti sono le modifiche da apportare alla struttura impiantistica. Interventi importanti e più accessibili, di solito realiz-

zabili con risorse finanziarie interne all'azienda, sono l'installazione di apparecchiature di controllo e regolazione dei processi e l'installazione dei recuperatori di energia termica.

Per quanto riguarda invece gli interventi di innovazione tecnologica dei processi produttivi e delle macchine, che consentono oltre al risparmio energetico aumenti di produttività illustrati nel cap.4, questi richiedono maggiori impegni finanziari, non facilmente affrontabili con le risorse finanziarie dell'azienda.

Nelle due aziende da me visitate sono stati realizzati alcuni degli interventi gestionali prima elencati (bilancio energetico, controllo del consumo energetico delle principali macchine), rendendo efficiente la gestione della risorsa energia.

Fra gli interventi impiantistici realizzati (v.paragrafo 5.1) si può notare che nel campo degli essiccatoi vi è una maggiore attenzione verso gli interventi di ottimizzazione del processo che verso il recupero dell'energia termica e dell'aria calda esausta, perchè quest'ultimo è ritenuto problematico a livello impiantistico (manutenzione dello scambiatore) ed inoltre perchè i tempi di ritorno dell'investimento sono ritenuti relativamente lunghi

(oltre due anni).

Entrambe le aziende invece hanno installato alcuni ricu=
peratori di calore acqua-acqua per i processi in umido
(lavaggio e tintoria), ritenendoli un ottimo investimen=
to dato che i tempi di ritorno sono inferiori all'anno
e non si hanno complicazioni impiantistiche.

Gli interventi di innovazione tecnologica sono ritenuti
interessanti, ma non facilmente realizzabili con le sole
risorse finanziarie aziendali, che dovrebbero essere inte=
grate con incentivi finanziari.

Ad esempio l'attuale legge N.308 del 29 maggio 1982 pre=
vede contributi, anche per l'industria, a fondo perduto per
tutti gli interventi di risparmio energetico, fra i quali
si intendono prioritari anche quelli volti a conseguire
risparmio energetico a mezzo di trasformazione di proces=
so e adozione di innovazioni tecnologiche.

Le considerazioni fatte su queste due aziende non pos=
sono essere generalizzate, perchè, come si è visto nel
capitolo 1, le dimensioni delle aziende tessili piemonte=
si sono mediamente inferiori a quelle delle aziende da me
visitare.

Nelle piccole aziende tessili il problema del costo ener=
getico è meno sentito sia perchè il costo energetico, pur

avendo mediamente la stessa percentuale delle medie e
grandi aziende, (inferiore al 10%), risulta in termini
assoluti basso, sia perchè una piccola azienda non di=
spone di strutture adeguate e personale adibito al con=
trollo del consumo energetico.

Questi inconvenienti possono essere però ovviati con la
creazione di strutture extra aziendali che forniscono
tali servizi a più aziende, e un esempio di questo è il
consorzio per la ricerca e le fonti energetiche creato
a Biella (CIREB).

Un'altra possibilità è quella offerta dai consulenti e=
sterni esperti di problemi energetici aziendali.

L'analisi energetica effettuata presso l'azienda permet=
terà di stabilire quali sono gli interventi attuabili in
base alle caratteristiche impiantistiche, ai tipi di pro=
cesso di lavorazione e alle possibilità finanziarie, ca=
ratteristiche che non sono facilmente generalizzabili nel
settore tessile.

BIBLIOGRAFIA

AMMAN F., PANATI G., IEFÈ, L'ENERGIA IN PIEMONTE. IL BILAN-
CIO ENERGETICO ANALISI TERRITORIALE E INDAGINE SETTORIA-
LE, EDA, Torino, 1982.'

BOFFA C., GREGORIO P., ELEMENTI DI FISICA TECNICA, Levrot-
to e Bella, Torino, 1979.

BONA M., ISWARDI F.A., STRANEO S.L., MANUALE DI TECNOLOGIA
TESSILE, Edizioni Scientifiche A.Cremonese, Roma, 1981.

BUSCEMA B., CIBORRA B., INTRODUZIONE AL METODO DELL'ANALI-
SI ENERGETICA, Clup, Milano, 1979.

BUSSOLIN G., TESSILE. ANALISI ECONOMICA DI UN SETTORE IN-
DUSTRIALE, Levrotto e Bella, Torino, 1980.'

CASSA DI RISPARMIO DI PRATO, TECNOTESSILE-CENTRO RICER-
CHE, "L'INDUSTRIA TESSILE PRATESE DI FRONTE AL PROBLEMA
DELL'ENERGIA", Atti del Convegno su IL Problema energeti-
co e l'industria tessile, Prato, 1979.'

CASSA DI RISPARMIO DI PRATO, TECNOTESSILE-CENTRO RICER-
CHE, NEW EUROPE CENTER, "INNOVAZIONE TECNOLOGICA ASPET-
TI FINANZIARI UN'ESPERIENZA NEL SETTORE TESSILE PRATE-
SE", Atti del Convegno su Energia e industria, Prato,
1980.'

COOPER G.S., THE TEXTILE INDUSTRY. ENVIRONMENTAL CON-
TROL AND ENERGY CONSERVATION, Noyes Data Corporation,
New Jersey (USA), 1978.'

DE TONI G.P., "UNA INIZIATIVA INDUSTRIALE PER L'ANA-
LISI DEI PROBLEMI ENERGETICI DI UN SETTORE E DI UN
TERRITORIO: IL CIREB", Atti del Convegno a Expo-Ener-
gia Tecnologie Energetiche, Torino, 1983.

ENEA, METODOLOGIE DI RISPARMIO ENERGETICO, Hoepli,
Milano, 1984.

ISTITUTO CENTRALE DI STATISTICA, TAVOLE INTERSETTORIALI
DELL'ECONOMIA ITALIANA PER L'ANNO 1975, ISTAT, Roma,
1980.'

ISTITUTO CENTRALE DI STATISTICA, ANNUARIO DI STATISTI-
CHE INDUSTRIALI. VOL. XXV, EDIZIONE 1982, ISTAT, Roma,
1984.'

KIRILLIN V.A. et al, TERMODINAMICA TECNICA, Editori
Riuniti, Roma, 1980.'

LANERES J., PERRIN J., ECONOMIE ET RECUPERATION D'ENER-
GIE DANS L'INDUSTRIE TEXTILE. FINAL REPORT, Institut
Textile de France-Nord, Villeneuve D'Ascq Cedex, 1980.

LAVAGNO E., IL BILANCIO ENERGETICO REGIONALE. PRIMO
RAPPORTO DI AGGIORNAMENTO, Regione Piemonte - Poli-
tecnico di Torino, 1981.'

LEACH R., LOW WET PICK-UP PROCESSING, International Institut For Cotton, Manchester (UK),1983.

LIVIERI, FEDRIGHINI, MONCASSOLI, "INDAGINE SULLE POSSIBILI TA' DI DIFFUSIONE DELLA COGENERAZIONE NEL SETTORE TESSILE LANIERO CON PARTICOLARE RIGUARDO AL BIELLESE", Atti del Convegno su Sistemi di Energia, Busto Arsizio (VA), 1984.

REIS A. et al, ENERGY ECONOMICS AND MANAGEMENT IN INDUSTRY, Pergamon Press, Oxford (UK),1984.

SMIRLEY INSTITUTE, ENERGY USE IN THE SPINNING AND DOUBLING (COTTON SYSTEM) SECTOR, Departement of Industry, London,1979.

STEFFERS J., "IL FINISSAGGIO A SCHIUMA CONSIDERAZIONI CRITICHE", Chemiefasern Textilindustrie, N.1,1983 (Selezione Tessile, suppl. N.9,1983).

STEINER R., "HIGH FREQUENCY DRYING OF YARN PACKAGES", Textile Praxis International, N.5,1983.

TESTORE F., GUZZINATI M.G., NEW DEAL NEL MECCANOTESSILE. RAPPORTO ITMA 1979, Edizioni Tecniche Publisedi, Milano,1980.

TESTORE F., TECNOLOGIA DELLA FILATURA, Editoriale Laniera, Biella,1975.

TONIN C., "LA GESTIONE DELL'ENERGIA TERMICA NEI PROCESSI DI ESSICCAZIONE DEI MATERIALI TESSILI", CIREB, GNR, C.R., "O.RIVETTI",1980.

UNIONE CAMERE DI COMMERCIO I.A.A. DEL PIEMONTE, PIEMONTE '70 IERI - '80 OGGI, Torino,1984.