31. Raffaele FALINI. — **Energia elettrica e vapore in una fabbrica di antibiotici.**

Riassunto. — Viene esaminato, nelle sue linee generali, il problema della convenienza economica dell'autoproduzione di energia elettrica mediante turboalternatori in un impianto per antibiotici. Tale esame viene eseguito su di una fabbrica di penicillina di limitate dimensioni, con lo scopo principale di indicare quali sono gli elementi fondamentali da prendere in considerazione per il tracciamento dei diagrammi di assorbimento di energia elettrica e di vapore. Una volta stabiliti gli andamenti di tali diagrammi si esaminano tre diverse possibili fonti di energia elettrica, e cioè totale acquisto dall'esterno, autoproduzione parziale con turbina in contropressione, ed autoproduzione totale con turbina a condensa e prelievo intermedio; vengono impostati quindi, a titolo indicativo, i relativi bilanci economici.

Sulla base di tali elementi l'indagine verrà successivamente estesa ad impianti di diverse capacità produttive totali e con varie dimensioni dell'unità fermentativa.

Résumé. — On examine, dans ses grandes lignes, le problème économique de l'autoproduction d'énergie électrique au moyen de turboalternateurs dans une installation pour la production d'antibiotiques. On fait cet examen à propos d'une fabrique de pénicilline de dimensions limitées, avec le but principal d'indiquer quels sont les éléments fondamentaux à prendre en considération pour tracer les diagrammes de la consommation d'énergie électrique et de vapeur. Après avoir établi l'allure de ces diagrammes, on examine trois possible différentes sources d'énergie électrique, c'est-à-dire: acquisition totale du dehors, autoproduction partielle avec turbine en contrepression, et autoproduction totale avec turbine à condensation et prélèvement intermédiaire; on établit ensuite, à titre d'indication, les bilans économiques relatifs.

Sur la base de ces éléments la recherche sera plus tard poursuivie en prenant en considération des installations de différentes capacités productives totales et munies d'unités de fermentation de grandeurs différentes.

Summary. — The author discusses, in general terms, the problem of the economic advantages of the autoproduction of electric power with turbine generators in an antibiotics plant. The study was made in a penicillin factory of limited size, with the principal aim of indicating

which are the fundamental elements to be taken into consideration in drawing graphs of electric and steam power consumption. Once the trends of the graphs are determined, three different possible sources of electric power are examined, i.e. all brought from ourside, partial autoproduction with back pressure turbine and complete autoproduction with condensor and extraction turbine; the corresponding economic balances are then worked out.

On the basis of these elements, the researches will be continued later and will be extended to include installations of different total capacity production, equipped with fermentation units of different sizes.

Zusammenfassung. — In grossen Zügen wird die Frage der wirtschaftlichen Rentabilität der Eigenherstellung elektrischer kraft mittels Turbinen-Wechselstromgeneratoren für eine Anlage zur Herstellung von Antibiotica geprüft. Als Beispiel wird eine Penicillin-Fabrik bescheidenen Umfangs genommen. Hauptzweck ist hierbei, die für den Strom- und Dampfverbrauch in Betracht zu ziehenden grundlegenden Gegebenheiten aufzuzeigen. Nachdem der Verlauf der entsprechenden Kurven einmal festgelegt ist, werden die drei Möglichkeiten der Zufuhr elektrischer Kraft geprüft, und zwar Gesamtstromlieferung von dritter Seite, teilweise Eeigenstromerzeugung mittels Gegendruckturbine und vollständige Eigenstromerzeugung mittels Kondensationsturbine und Zwischenentnahme. Die wirtschaftlichen Berechnungen für diese drei Möglichkeiten werden lediglich indikativ angegeben.

Aufgrund dieser Gegebenheiten wird die Untersuchung auf Antagen verschiedener Leistungsfähigkeit und mit verschieden grossen Gärungsanlagen ausgedehnt.

Nell'industria chimica, come in tutte le altre industrie che usano vapore a bassa pressione, è problema di particolare interesse quello che riguarda la possibilità di produrre energia elettrica mediante turboalternatori

Tale possibilità è strettamente legata al ciclo di lavorazione, essendo indispensabile che gli andamenti dei consumi di vapore e di energia elettrica siano tali da non presentare nè discontinuità rilevanti nè squilibri eccessivi gli uni rispetto agli altri.

Negli impianti di antibiotici, nei quali si ha appunto necessità di una notevole produzione di vapore a bassa pressione, con impiego di energia elettrica strettamente legato ai consumi di vapore. la suddetta questione

si presenta con carattere di particolare attualità; si ritiene quindi opportuno esporre nel presente lavoro alcune considerazioni sulla via da seguire per inquadrare il problema nelle sue linee generali, soprattutto per quanto riguarda il tracciamento dei diagrammi di assorbimento di vapore e di energia elettrica.

Per far ciò è naturalmente necessario riferirsi ad un caso concreto; poichè però le attuali fabbriche di antibiotici sono di dimensioni estremamente diverse, e, d'altro canto, l'indagine assume un interesse maggiore se estesa ad impianti di diverse dimensioni, si è basato il presente studio iniziale su di un impianto di non grande entità; successivamente il metodo qui seguito verrà applicato ad impianti di maggiore mole per esaminare quali di volta in volta siano le conclusioni cui si perviene.

I presupposti di questo primo lavoro sono quindi i seguenti:

1) Si è presa in considerazione una fabbrica di penicillina costituita da sei fermentatori da 20.000 lt. di capacità utile ciascuno.

Ogni fermentatore è alimentato da due stadi prefermentativi (un serbatoio di semina ed uno intermedio); il rapporto di volume fra il primo ed il secondo è in genere dell'ordine di un decimo; tra il secondo ed il fermentatore vero e proprio tale rapporto può variare da un decimo ad un venticinquesimo.

Pertanto si è qui supposto di disporre di una tank di semina della capacità di circa lt. 100 e un serbatoio intermedio da lt. 1000 utili.

Il primo di questi due non è stato mai considerato nei calcoli che seguono, sia per la piccolissima entità dei consumi ad esso relativi, sia perchè in molti impianti si usa spesso trasferire per la semina parte del contenuto di un intermedio in un altro.

2) Per fermentatori delle suddette dimensioni si può assumere, anche in base a dirette esperienze. che la durata delle singole fasi di ogni ciclo sia la seguente:

— stadio fermentativo nella tank intermedia da 1000 lt.: 36 ore;

— stadio fermentativo vero e proprio nelle tanks da 20.000 lt.: 90 h;

— intervallo fra l'inizio di uno scarico e la semina successiva (per pulizia e preparazione del nuovo terreno sterile): 12 ore.

3) La fabbrica è normalmente integrata da adeguati laboratori di preparazione dei ceppi, di controllo, di analisi e di ricerca; si sono quindi valutati anche i consumi di tali reparti.

4) Si sono desunti i valori di alcuni consumi direttamente da dati sperimentali, per evitare di introdurre cifre astratte, specie nei casi in

cui difficilmente si potrebbe arrivare ad una valutazione teorica di esse (ad es. per il vapore consumato nei cosidetti « sigilli di vapore » destinati a garantire la sterilità delle tubazioni in entrata ed uscita dalle tanks di fermentazione).

5) Si sono distinti i consumi legati al ciclo fermentativo, dai consumi indipendenti dal ciclo stesso, determinando così per ogni consumo di energia e di vapore, un diagramma inerente all'andamento di un ciclo di lavorazione ed uno da esso indipendente; le somme dei singoli consumi sono riportate in altri diagrammi relativi al complesso dei sei cicli fermentativi considerati; infine gli andamenti dei consumi totali di energia e di vapore sono riportati su uno stesso diagramma al fine di poterli confrontare direttamente.

ENERGIA ELETTRICA

A) Consumi di energia legati al ciclo fermentativo.

Aria compressa:

E' noto come la produzione di penicillina venga oggi attuata esclusivamente in cultura sommersa, seminando cioè una certa quantità di micelio di «penicillium» (in uno dei vari ceppi selezionati) in recipienti mantenuti in costante agitazione nei quali viene insufflata aria sterile per tutta la durata della fermentazione (che si aggira, come si è visto, sulle 90 ore).

Normalmente la quantità di aria non è costante, in quanto nelle prime 24 ore il micelio è ancora in piccola quantità e sarebbe inutile inviare aria in quantità tale da fornire più ossigeno di quello che il tasso di respirazione del micelio presente richiede. Teoricamente quindi l'aria da inviare dovrebbe essere proporzionale al peso secco di micelio presente; poichè però in genere tale peso comincia a crescere rapidamente a partire dalle 24 ore successive alla semina, si è soliti aumentare l'aria verso la fine di questo periodo. I valori assoluti della portata d'aria sono poi funzione delle dimensioni dei fermentatori, dei tipi di agitatori usati, e di altri fattori puramente biochimici; ai fini però del presente lavoro — determinazione dei diagrammi di assorbimento di energia e di vapore — si ritiene opportuno attenersi ai valori usati dalla maggioranza delle fabbriche esistenti, per non avere delle indicazioni in difetto.

Tali quantità sono usualmente variabili da 0,5 ad un volume di aria

per volume di liquido in fermentazione e per minuto; si assumerà pertanto nel presente caso che il detto rapporto (vol. aria/vol. liquido — 1') sia dell'ordine di 0,5 nelle prime 24 ore per poi salire sino ad avvicinarsi all'unità a partire da questo periodo. Per tener conto inoltre sia delle perdite che di vari altri usi dell'aria compressa (come ad esempio per inviare aria sterile in gallerie di confezione) si è presunto in definitiva costante ed uguale ad 1 mc./1' per mc. di liquido il consumo di aria a partire dalla 24ª ora. nonostante che l'aumento non sia brusco ma graduale.

Tale approssimazione non incide molto nell'andamento del diagramma di carico generale, sia per lo sfasamento dei cicli fermentativi, sia perchè come si vedrà in seguito, l'assorbimento di energia da parte degli agitatori presenta una variazione in senso inverso.

Negli intermedi da 1000 lt., invece, la portata di aria inviata viene generalmente mantenuta costante, ed in rapporto di 1 vol./vol. liquido — 1'. Le quantità suddette sono tutte riferite alle condizioni dell'aria all'aspirazione, e cioè a pressione e temperatura ambiente; per il calcolo della potenza occorrente a comprimere tali quantità, occorre tener presente che normalmente (a meno cioè di non avere perdite di carico troppo elevate) è sufficiente comprimere l'aria a 2 Kg./cmq.; la potenza occorrente è allora di circa 2,8 Kw/mc. al minuto (*).

Si è riportato nella figura 1 (diagramma a tratto pieno) l'andamento dei consumi di energia per un fermentatore da 20 mc. (compreso il prefermentatore da 1 mc. relativo); sull'asse delle ascisse sono riportati i tempi, e sulle ordinate i consumi; i segmenti in alto indicano singole fasi del ciclo di lavorazione.

Nelle prime 24 ore (tratto A-B) si ha un consumo di 10 mc./1' di aria che richiede 28 Kw; successivamente (tratto B-C) 20 mc./1' pari a 56 KW. In questo intervallo al punto A' entra in funzione anche l'intermedio da 1000 lt. con un assorbimento di 1 mc./1' (2,8 KW) e pertanto nel tratto A'C avremo in totale 58,8 KW.

Al punto C cessa la fermentazione nella tank da 20 mc. ed il consumo resta limitato ai soli 2,8 KW dell'intermedio, per poi riprendere con i 28 KW all'inizio del nuovo ciclo, cessando allo stesso momento la fermentazione dell'intermedio.

(*) Come risulta dalla $N = 138/\gamma \; Qo \; lnp$, dove γ = 0,65 ca.
Qo = 0,0166 mc./1' p = 3 Kg./cmq.
Si ricava appunto N = ca. 3,65 Hp. pari a poco meno di 2,8 KW. Il rendimento complessivo è tenuto piuttosto basso, soprattutto perchè si impiegano normalmente compressori lubrificati a grafite o simili, adatti a fornire aria esente da olio.

Agitazione:

Come si è detto, durante tutta la fermentazione i liquidi vengono costantemente mantenuti in agitazione.

L'energia assorbita dagli agitatori, in sistemi quali sono quelli normalmente impiegati, è strettamente legata alla quantità di aria inviata, e di assai difficile valutazione, dipendendo, fra l'altro, anche dai rapporti di forma dei recipienti usati. Si può in ogni modo dire, sulla scorta dell'esperienza, che tale energia può oscillare dai 2 ai 4 Watt/lt. di liquido con rapporto di aria pari a 0,5 per scendere di circa 1/3 allorchè il rapporto sale ad uno.

Risulta comunque, da constatazioni sperimentali, il fatto assai notevole che la somma delle potenze impegnate per l'aria e per l'agitazione tende a rimanere costante per tutta la durata della fermentazione; nel presente caso e per la suesposta ragione di non avere valutazioni in difetto, si è assunto che tale somma sia all'incirca pari a 5 Watt/lt. Ciò equivale a dire che all'inizio, quando si invia aria nel rapporto 0,5 lt./lt. 1 l'energia spesa nell'agitazione è dell'ordine di 3,6 KW/mc.; successivamente, aumentando il rapporto sino ad uno, l'energia per l'agitazione scende a circa 2,2 KW/mc.

In altre parole, durante le prime 24 ore un agitatore per 20.000 lt. assorbirà 72 KW., scendendo poi a circa 44. Anche questo andamento è stato riportato nella figura 1; in essa è stata valutata, sempre con il criterio suesposto, in 2 KW la potenza richiesta da una tank da 1000 lt. per l'agitazione, giungendo così alla determinazione del diagramma somma delle quantità sin qui esaminate (aria + agitazione).

E' opportuno far rilevare che si è voluta fare qui una analisi separata delle due potenze — mentre sarebbe stato praticamente sufficiente indicare la sola potenza somma — ai fini della determinazione dell'energia elettrica richiesta dai compressori d'aria, in vista della possibilità, che sarà in seguito considerata, di autoprodurre energia elettrica solo per questo consumo.

Refrigerazione:

L'impiego di salamoia, nelle fabbriche di antibiotici, è normalmente limitato all'estrazione e cristallizzazione e ad alcuni laboratori; non verrà perciò qui presa in considerazione la eventualità di usarla per il raffreddamento delle tanks di fermentazione, come può in taluni casi avvenire per scarsa disponibilità di acqua a temperatura sufficientemente bassa. La valutazione del fabbisogno di frigorie, per quanto concerne il ciclo

fermentativo, verrà pertanto limitata al raffreddamento dei brodi da passare all'estrazione, nonchè del solvente e della soluzione tampone.

Tali quantità sono·

— raffreddamento di lt. 20.000 di brodo da +24° a +4:
$Q = P \times \Delta t \times \gamma = 20.000 \times (24 - 4) \times 1 = 400.000$ frigorie - durata 3 ore.

— raffreddamento di lt. 4.500 di acetato d'amile (o butile):
da +25° a +2°. $Q = 4.500 \times (25\text{-}2) \times 0{,}6$ = ca. 65.000 frigorie - durata ore 1.

— raffreddamento di lt. 1.000 di soluzione tampone da 25° a +2.
$Q = 1.000\ (25\text{-}2) \times 1$ = ca. 25.000 frigorie - durata ore 1.

Considerando inoltre le varie perdite si può valutare in 500.000 frigorie il fabbisogno relativo ad ogni fermentazione. Poichè il raffreddamento del brodo va eseguito durante la filtrazione, subito dopo lo scarico, e va compiuto in circa 3 ore, mentre solvente e tampone possono venir raffreddati prima dello scarico stesso, le frigorie suddette vanno fornite in circa 4 ore. Disponendo di vasche di accumulo di salamoia di sufficiente capacità e di un compressore da 150.000 fr/h, occorrerà far lavorare il compressore stesso per le 4 ore corrispondenti, al fine di non far aumentare la temperatura del bagno, necessaria per diversi altri usi di fabbrica.

Calcolando in 3000 fr/KWh il rendimento medio del compressore si hanno 50 KW impegnati, come è indicato nella figura 2; ad essi vanno aggiunti circa 4 KW. per le pompe di circolazione della salamoia, di cui però si terrà conto nella valutazione degli altri consumi.

Filtrazione:

Con un normale filtro a tamburo Oliver da 9 mq. occorrono, come già accennato, circa 3 ore per filtrare 20 cm. di brodo di coltura; la potenza relativa impegnata (assorbita dalla pompa a vuoto e dalle pompe di circolazione) è di circa 20 KW. Nella figura 2 essa è rappresentata dal segmento DE.

Estrazione:

L'estrazione della penicillina dal brodo di fermentazione filtrato, viene oggi normalmente eseguita con estrattori centrifughi in controcor-

rente tipo Podbielniak. Il tipo più recente lavora circa 3.500 lt/h; nell'impianto qui considerato si dovrebbero avere due di queste macchine impiegate per la 1ª fase dell'estrazione (cosidetto brodo in solvente), una per la 2ª (solvente di tampone) ed un estrattore più piccolo per la 3ª (tampone in solvente). Complessivamente, fra macchina e pompe di alimentazione, la potenza impegnata è di circa 20 KW. per ciascuna delle unità della 1ª e 2ª fase e di 10 per la 3ª. Si cerca per quanto possibile, di eseguire contemporaneamente le tre fasi; poichè la durata di ciascuna di esse oscilla (fra avviamento, estrazione e lavaggi) fra le 4 e le 5 ore, si può valutare in 70 KW impegnati per 5 ore l'energia occorrente a questo reparto. L'operazione è indicata dal segmento FS nella figura 2; in questa figura, oltre all'andamento degli assorbimenti per l'impianto del freddo, per la filtrazione e l'estrazione, è riportato anche il diagramma somma della figura 1, giungendo così al diagramma della potenza richiesta durante un ciclo fermentativo.

B) Energia indipendente dal ciclo fermentativo.

I principali assorbimenti di energia elettrica nell'impianto considerato, oltre a quelli già descritti, possono venire valutati come segue:

— Reparti cristallizzazione e finitura dei sali di penicillina: in media circa 10 KW., quasi esclusivamente nelle 12 ore diurne.

— Servizi, confezione, uffici e laboratori: circa 20 KW. di giorno e 12 di notte.

— Centrale termica - I motori elettrici ausiliari di una centrale commisurata a questo impianto sono essenzialmente costituiti dall'elettropompa di alimento (30 KW.), dal bruciatore di nafta, aspiratori e ventilatori (15 KW), e da pompe a bassa prevalenza per la circolazione fra depuratore, degasatore, ecc. (5 KW). Sono perciò in complesso 50 KW. impegnati per 24 ore su 24.

— Consumi diversi di salamoia: sono valutabili a 20.000 fr/h per le 12 ore del giorno e circa 10.000 per la notte.

Sono quindi oltre 240.000 fr. da fornire durante il giorno e 120.000 per la notte; ciò equivale a tre ore di marcia del compressore da 50 KW. ogni 24 ore; queste ore, per semplicità, si sono supposte concentrate due all'inizio delle 12 ore di giorno ed una per la notte. A ciò è infine da aggiungere un consumo continuo di 4 KW per le pompe della salamoia.

I consumi di cui alla parte B) sono riportati in diagramma nella figura 3. In questa figura si sono poi indicati una serie di cicli fermentativi (almeno due interi per ognuno dei sei gruppi) supponendo di sfasare di 24 ore ogni inizio di ciclo di un gruppo da quello che segue. In ogni ciclo sono segnate le operazioni più importanti ai fini della presente indagine, e cioè lo stadio intermedio dei 1000 lt., lo stadio fermentativo dei 20.000, la filtrazione e l'estrazione. Inoltre si è fatto in modo che l'inizio delle lavorazioni nel gruppo n. 1 avvenga all'inizio delle 12 ore del giorno, onde permettere una razionale somma dei consumi della parte B) con quelli della parte A). Questi, già esaminati e diagrammati in funzione di un ciclo lavorativo, sono già stati sommati (diagramma A); infine la somma totale è stata pure eseguita venendosi ad avere l'andamento dei consumi di energia elettrica dell'intero impianto.

Occorre qui tener ben presente che non si è ritenuto opportuno spingere l'analisi a tempi più dettagliati, sia perchè i risultati così ottenuti sono già sufficientemente aderenti alla realtà, sia perchè non avrebbe avuto alcun senso eseguire i diagrammi con minore discontinuità (qui praticamente l'unità di misura del tempo è l'ora) dato che in pratica è assai difficile far eseguire le varie operazioni con tale precisione. Si pensi ad esempio che non è infrequente il caso di filtrazioni che si prolungano oltre il previsto per cause diverse, venendo così a spostare tutte le operazioni successive.

Così pure per ciò che concerne i consumi per servizi, laboratori, ecc., si è ritenuto che le valutazioni fatte siano più che sufficienti dato il piccolo peso che esse hanno rispetto ai consumi più forti quali sono quelli per l'aria e l'agitazione.

VAPORE

Si è qui seguito il medesimo criterio usato per l'energia elettrica, suddividendo i consumi in dipendenti ed indipendenti dal ciclo fermentativo.

A) Consumi di vapore legati al ciclo fermentativo.

E' questo il consumo più forte dell'impianto ed è costituito da due parti: una continua, rappresentata dal vapore usato per mantenere sterili tutte le entrate e le uscite dei recipienti in fermentazione, ed una discontinua data dal vapore necessario alla sterilizzazione dei terreni.

La prima delle due, come già detto, è di difficile valutazione poichè

dipende sia dalla natura dell'impianto (ad es. una adatta rete di scaricatori di condensa può contenere il consumo entro limiti assai modesti) sia, in molti casi, dall'abilità delle maestranze.

Una valutazione desunta da varie osservazioni e misure eseguite indicano un massimo di consumo di 100 Kg./ora per ogni recipiente (indipendente dalle sue dimensioni, poichè è funzione soltanto del numero delle entrate e delle uscite, praticamente invariabile); questa quantità, si ripete, può essere ritenuta un limite superiore ed è abbastanza facile ridurla sensibilmente.

I consumi per la sterilizzazione dei terreni sono meno variabili.

Per ogni fermentatore da 20.000 lt. occorrerà fornire le calorie necessarie a portare da temperatura ambiente a 118° circa 17-18.000 lt. di liquido a calore specifico 1 (i restanti 3.000-2.000 lt. vengono forniti dal vapore condensante). Normalmente si è soliti eseguire l'operazione in adatti autoclavi nei quali entra vapore a barbottage; di qui poi il liquido sterilizzato viene trasferito, mediante tubazioni anch'esse sterili, nelle tanks di fermentazione.

Usando allora vapore a 3 Kg./cmq. da mandare a condensa totale, occorrono per ogni operazione circa 2.800 Kg. di vapore, da portare a 3.000 Kg. per tener conto delle perdite.

Occorre poi sterilizzare a parte la tank di fermentazione, che viene portata, vuota, a circa 135° per mezz'ora (naturalmente la stessa cosa vale anche quando la sterilizzazione del liquido viene fatta direttamente nelle tanks: in questo caso andranno detratte le calorie spese per portare a temperatura l'autoclave). Poichè una tank di fermentazione, munita di refrigerazione, della capacità totale di 25 mc. può pesare circa 7.000 Kg. occorreranno $7.000 \times 0{,}2 \times (135\text{-}20)$ = circa 100.000 cal. pari a poco meno di 200 Kg. di vapore. Occorre però tener presente che qui le perdite sono sensibili (a meno che la tank non sia isolata termicamente) e perciò tale quantità salirà ad almeno 300 Kg.

Occorreranno pertanto 3.300 Kg. di vapore a 3 Kg./cmq. per ogni sterilizzazione di una tank da 20.000 lt.; per una tank da 1.000 lt., tenendo conto delle dispersioni proporzionalmente assai più rilevanti (i rapporti peso del recipiente/volume racchiuso, e superficie disperdente/volume aumentano notevolmente scendendo alle minori capacità), occorrono circa 400 Kg.

Per non richiedere alle caldaie prestazioni di punta troppo elevate, si cerca, per così dire, di diluire la sterilizzazione nel tempo. Ciò si ottiene sia preriscaldando fin verso i 95° l'acqua necessaria alla preparazione del mezzo di cultura, sia eseguendo la sterilizzazione delle tanks quando quella del mezzo sta per terminare. In tal modo, protraendo l'ope-

razione per 4 ore complessive, si può far scendere il consumo orario a poco più di 800 Kg./h per la tank da 20.000 lt. e a 100 Kg./h per la tank da 1.000 lt. L'andamento complessivo del consumo di vapore legato al ciclo di lavorazione sarà quello indicato in fig. 4; qui mentre la linea continua ha il significato già visto (fermentazione nel 20.000 e nell'intermedio), le linee a tratti indicano la durata delle sterilizzazioni relative alle due tanks.

B) Consumi di vapore indipendenti dal ciclo fermentativo.

Laboratori. — Assorbono vapore per gli autoclavi usati per la sterilizzazione di piccole quantità di terreni, vetrerie, ecc. Il consumo di una batteria di tali autoclavi (costituita da 4 autoclavi da 300 lt. e 8 da 100 lt.) assomma a circa 230 Kg./h di vapore a 3,5 Kg./cmq.; tale uso è normalmente limitato alle 12 ore del giorno.

Acqua calda. — Circa 150 Kg./h di vapore vengono spesi per il riscaldamento di acqua destinata ai vari servizi dell'impianto (termostati, lavaggi e simili); tale servizio è da ritenere continuo, considerando la quantità suddetta come media fra giorno e notte.

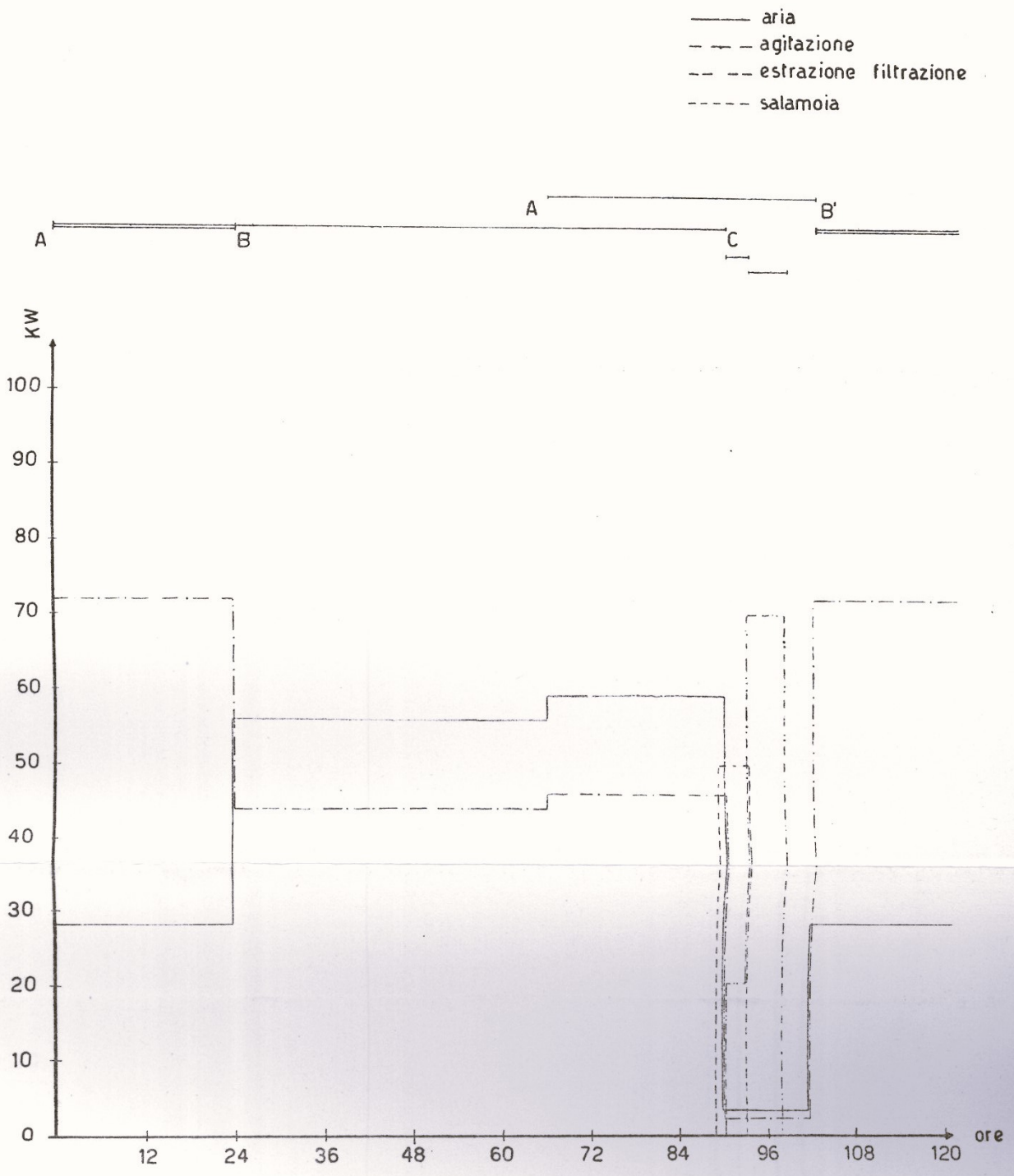
Servizi di Centrale. — Una centrale termica, proporzionata all'impianto in esame, assorbe per i propri servizi (depuratore, degasatore, riscaldamento nafta, ecc.) circa 350 Kg./h.

Distilleria. — L'estrazione della penicillina dai brodi di fermentazione viene eseguita, come è noto, mediante opportuni solventi, quali acetato di amile o butile, cloroformio o simili, in notevoli quantità (complessivamente circa 1/5 del volume di brodo da trattare). Poichè non è possibile impiegare più di due volte lo stesso solvente senza sottoporlo a rettifica per liberarlo dalle impurità provenienti dai brodi, e poichè d'altro canto una notevole quantità di solvente viene trattenuta dai brodi esausti (dall'uno al due per cento in volume di brodo), l'impianto considerato disporrà di una distilleria nella quale operare sia la rettifica del solvente, sia il recupero della suddetta quantità trascinata nei brodi.

Si può considerare che l'impianto considerato possa dare fino a 800.000 lt./mese di brodo esausto da sottoporre al recupero del solvente in esso contenuto; in corrispondenza si avranno, dal reparto estrazione, da 80.000 a 160.000 lt./mese di solvente da sottoporre a rettifica (rapporto di estrazione solvente/brodo = 1/5; la quantità potrà oscillare entro i limiti suddetti a seconda della possibilità o meno di reimpiegare una volta il solvente prima del suo invio in distilleria).

FIG. 1

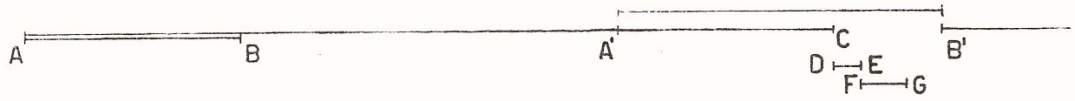
CONSUMO DI ENERGIA ELETTRICA IN
DIPENDENZA DEL CICLO FERMENTATIVO

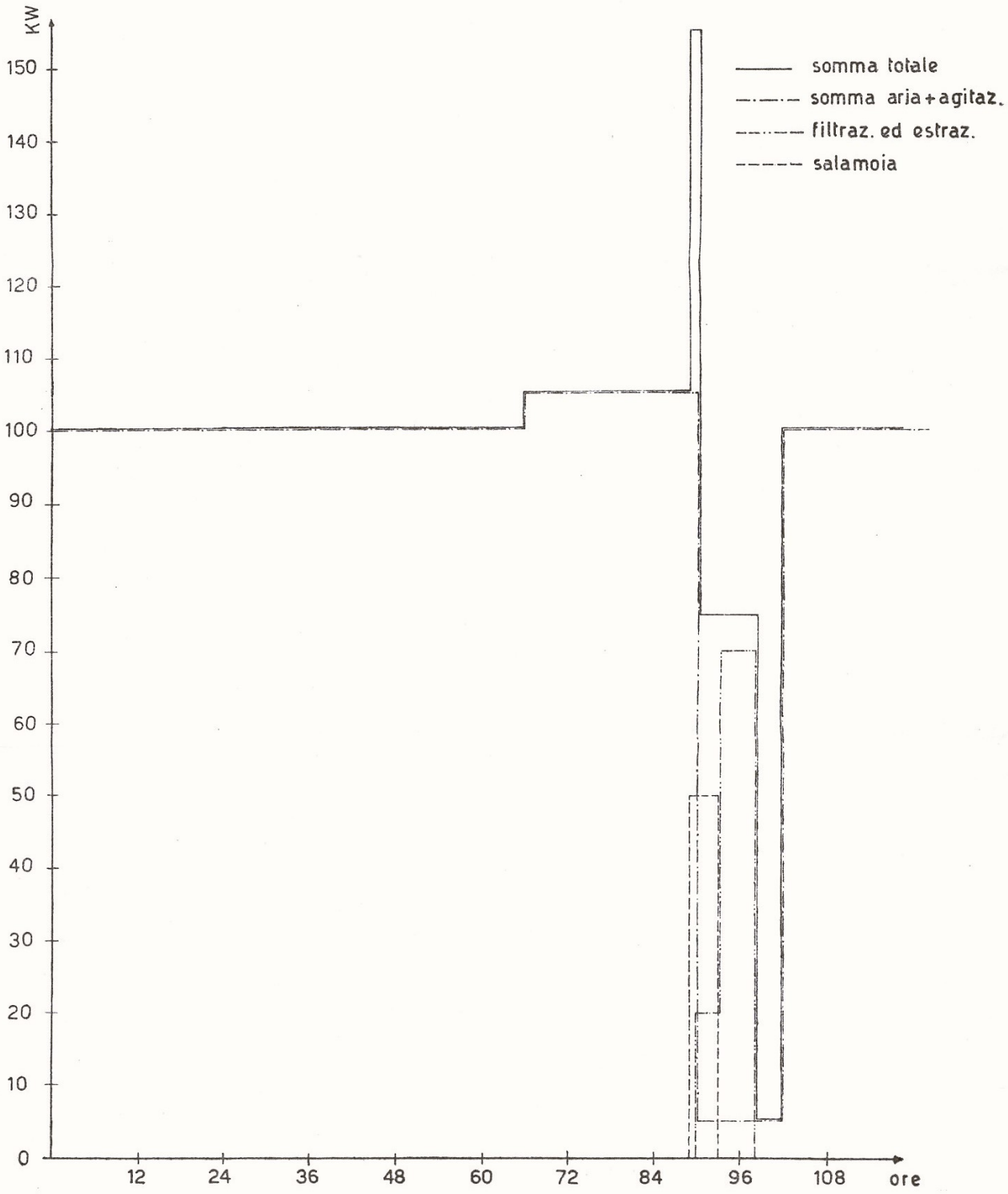


(fig. 2)

ASSORBIMENTO DI ENERGIA PER REFRIGERAZIONE, FILTRAZIONE ED ESTRAZIONE

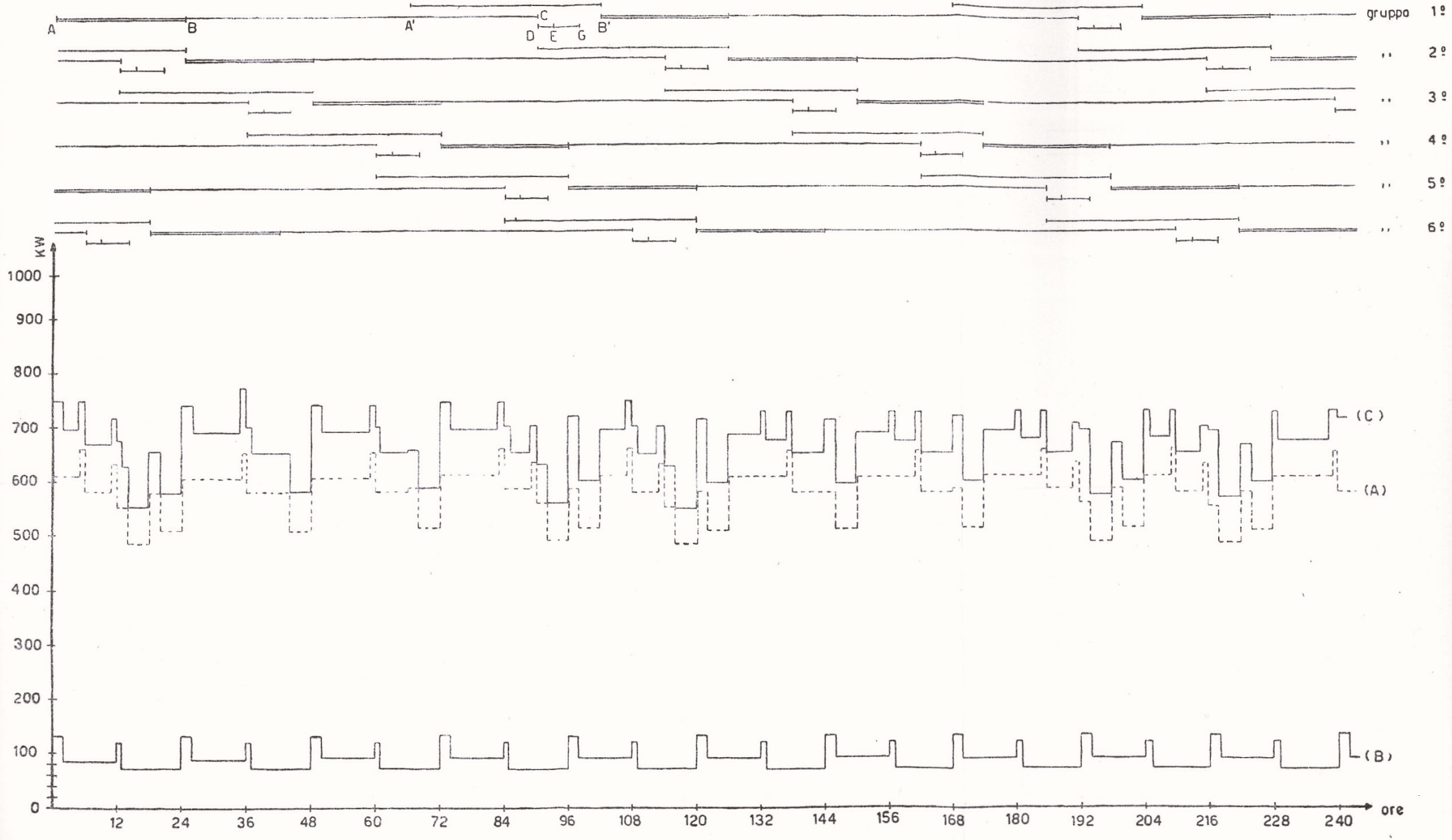
ASSORBIMENTO GLOBALE DI ENERGIA IN DIPENDENZA DEL CICLO FERMENTATIVO





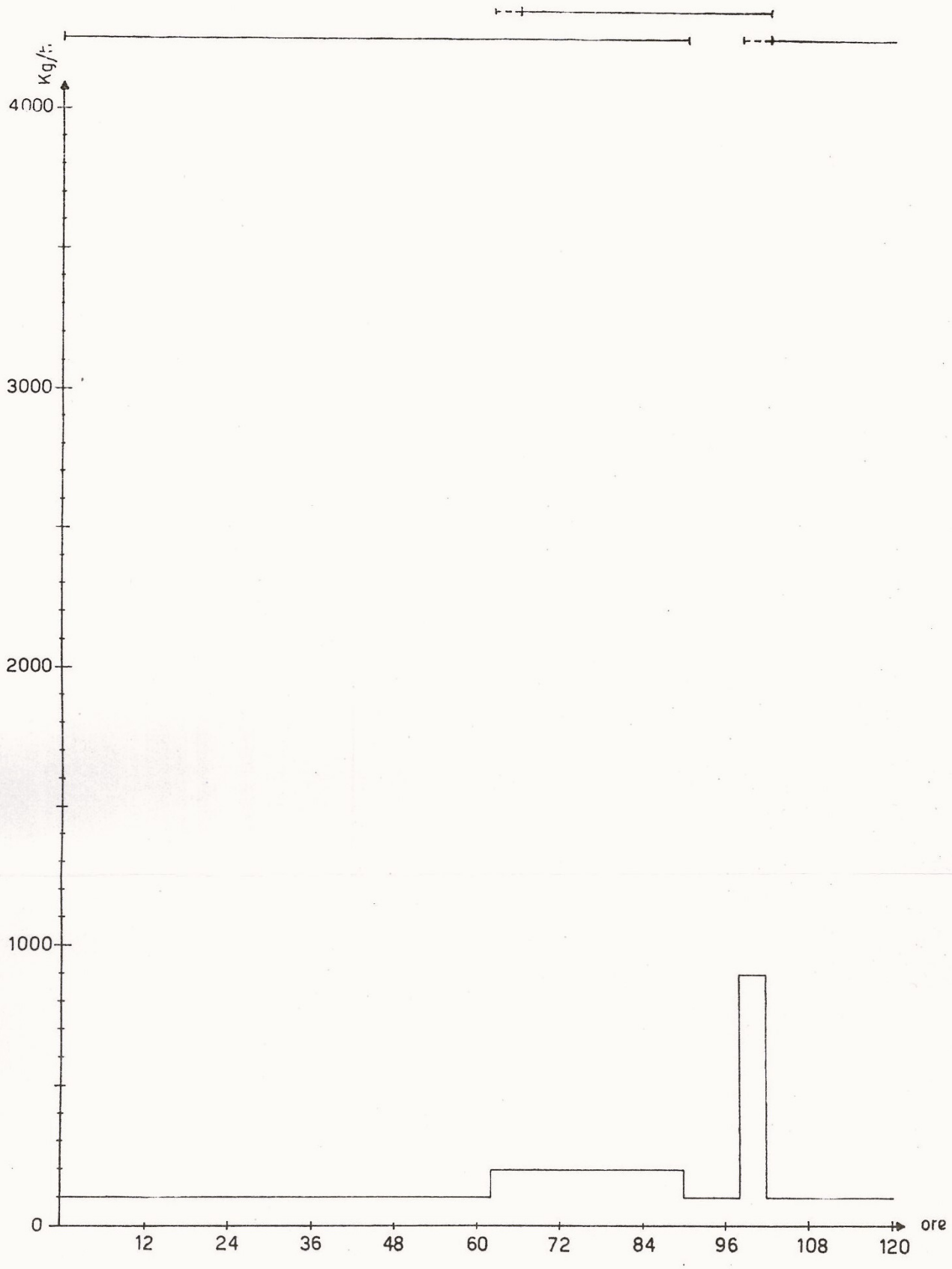
CONSUMO D'ENERGIA ELETTRICA TOTALE

(A) consumi per la fermentazione
(B) " indipendenti dalla fermentazione
(C) " somma



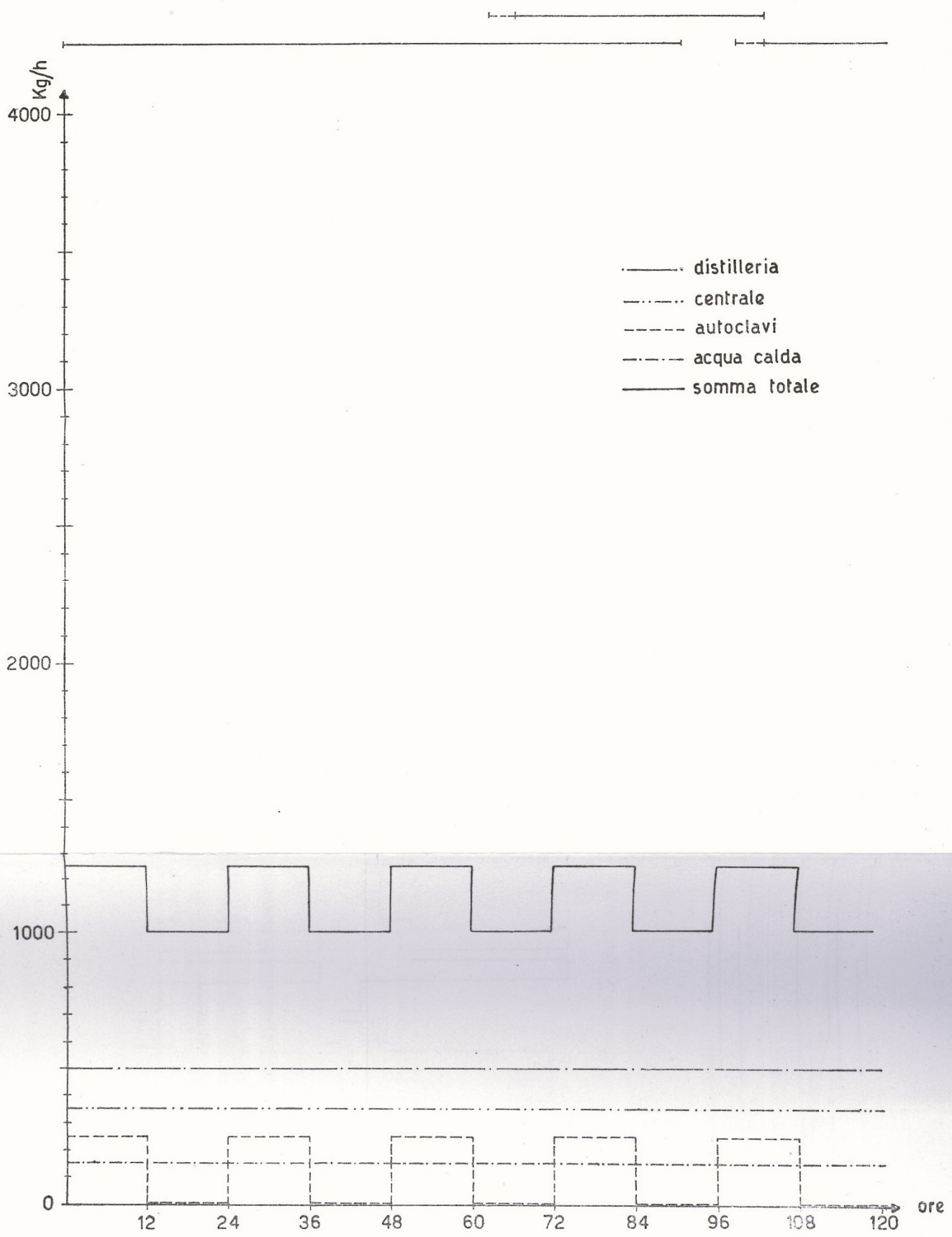
(fig 4)

CONSUMI DI VAPORE IN DIPENDENZA DEL CICLO FERMENTATIVO



(fig. 5)

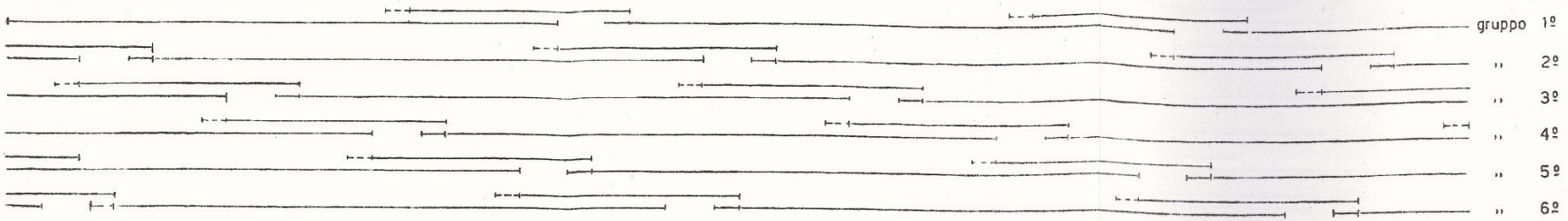
CONSUMI DI VAPORE INDIPENDENTI DAL CICLO FERMENTATIVO

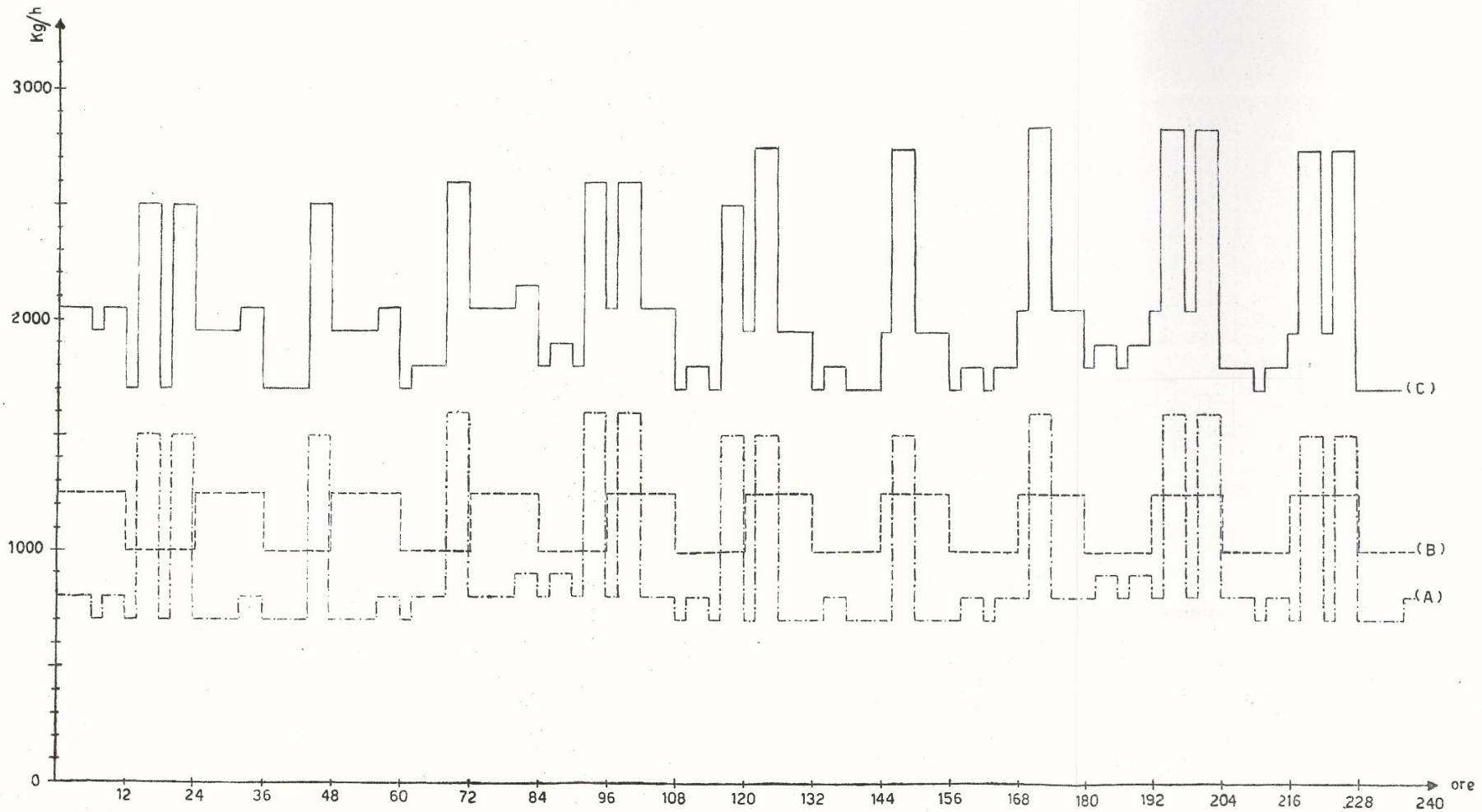


CONSUMO DI VAPORE TOTALE

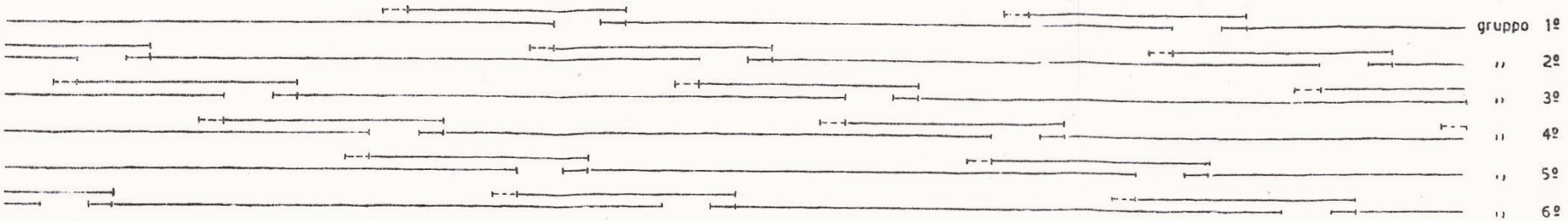
(A) Consumi per la fermentazione
(B) „ indipendenti dalla fermentazione
(C) „ somma

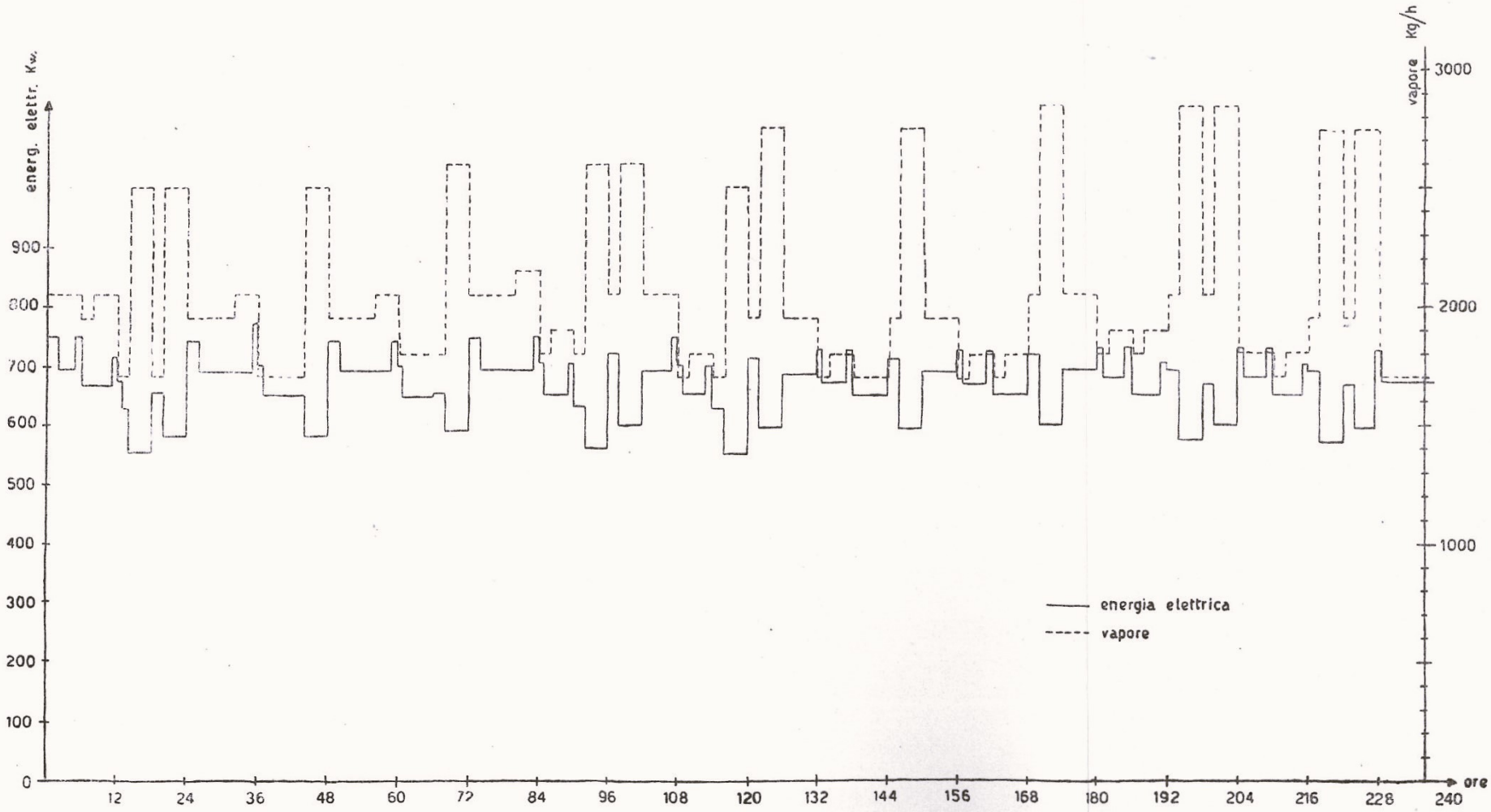
(fig. 6)





CONSUMI TOTALI DI ENERGIA ELETTRICA E VAPORE





Occorrerà di conseguenza una distilleria capace di lavorare fino a 1.200 lt./h di brodo, e al massimo, 160.000/720 = 250 lt./h di solvente.

Il consumo di vapore corrispondente si aggira sui 500 Kg./h alla pressione di 3,5 Kg./cmq.; tale impiego è continuo.

Il diagramma relativo ai consumi qui considerati è quello riportato in fig. 5, riferito al susseguirsi del giorno e della notte.

* * *

Il riepilogo dei consumi di vapore — somma delle quantità analizzate alle voci A e B — è quale risulta dalla fig. 6; esso è stato eseguito analogamente a quello dell'energia, riportando i cicli fermentativi dei sei gruppi considerati.

* * *

Se ora si prendono in considerazione i due diagrammi, quello della fig. 3 e quello della fig. 6 e si pongono in diretto confronto (fig. 7), si possono fare le seguenti considerazioni:

1) Il consumo prevalente di energia può essere stimato sui 650 KW., con variazioni normali non eccedenti il ± 10%; i consumi di punta, di durata non eccedente le due ore, sono intorno ai 750 KW, con massimo di 770, mentre i minimi si aggirano sui 580, con punte a 550.

2) Il consumo normale di vapore è intorno ai 1.800 ÷ 2.000 Kg/h; le punte in basso sono di poco inferiori a tale media, mentre quelle in alto salgono intorno ai 2.700, con massimo di 2.850 Kg./h e durata di 4 ore.

3) In corrispondenza di ogni punto di massimo consumo di vapore si ha un minimo di consumo di energia dato che il consumo di vapore sale durante le sterilizzazioni, quando cioè una delle tank non utilizza energia nè per l'aria nè per l'agitazione: inoltre in questo periodo anche l'estrazione è giunta alla fase dei volumi minori, corrispondenti a minori richieste di energia.

* * *

Si hanno così a questo punto i dati essenziali occorrenti per la progettazione del gruppo vapore-energia elettrica: può quindi essere interessante vedere, sia pure in linea di massima, quali possibilità tecniche ed economiche esistano per l'autoproduzione di energia elettrica mediante turbina a vapore.

Le soluzioni possono essere diverse; qui si prenderà in esame la possibilità di installare un gruppo turbina-alternatore nel quale si possono

effettuare parziali prelievi di vapore alle pressioni richieste dalla fabbrica, inviando il resto a condensa sotto vuoto.

Successivamente, inquadrando il problema nell'andamento generale dell'impianto, considerazioni di carattere economico diranno se non sia più opportuno limitare il gruppo alla sola parte in contropressione da far funzionare in parallelo con la rete di energia esterna.

Esaminiamo ora la prima di queste soluzioni; alcune semplici considerazioni confermano la possibilità di produrre energia elettrica mediante uno o più turboalternatori, riuscendo a coprire sempre le punte di richiesta sia di vapore che di energia elettrica.

Il diagramma di fig. 3 ci dice che la potenza erogata a carico normale del torboalternatore dovrebbe essere tra 650 e 700 KW.: in tal modo la massima punta di 770 KW. verrebbe coperta dal sovraccarico ammissibile del 10%. Il consumo di vapore può agevolmente essere determinato stabilendo determinate condizioni di ammissione e di scarico di vapore nel turbo; tali condizioni potrebbero essere le seguenti:

Vapore all'ammissione: 36 ata- 400°- entalpia $I_2 = 770$ Kal/Kg.
Vapore allo scarico: 0,05 ata- 32°- entalpia $I_1 = 495$ Kal/Kg.
Rendimento del gruppo: $\eta = 0{,}7$.

$$\text{Kg. vapore/KWh} = \frac{850}{I_2 - I_1} / \eta = \text{ca. } 4{,}5 \text{ Kg./KWh}$$

Occorrerà pertanto fornire, a carico normale, 3.150 Kg/h di vapore alle condizioni suddette, da inviare a condensa totale.

D'altro canto, sempre a carico normale, si è visto che l'impianto richiede dai 1.800 ai 2.000 Kg./h di vapore a 3,5 Kg./cmq.: la caldaia dovrebbe quindi fornire in media 5.000 Kg/h dei quali circa 2.000 andrebbero ridotti di pressione ed inviati all'impianto.

E' chiaro allora che tale riduzione di pressione può venir fatta più convenientemente nella macchina stessa, effettuando, fra l'alta e la bassa pressione, un prelievo pari al fabbisogno dell'impianto, sfruttando il salto di pressione per produzione di energia elettrica.

Supponendo allora di poter disporre di un generatore di vapore, capace di dare 4.200 Kg/h di vapore a carico normale, con possibilità di punta di 4.600 Kg/h (+10%) e di un torboalternatore a produzione normale di 700 KW., con punte a 770, i bilanci vapore-energia nelle diverse condizioni di carico (normale e di punta) potrebbero essere i seguenti:

Condizioni normali:

VAPORE: Ammissione al turbo: 4.200 Kg/h a 36 ata - 400°
Prelievo intermedio: 2.000 K/h a 4,5 ata
Al condensatore: 2.200 Kg/h a 0,5 ata

ENERGIA: Prodotta dal vapore a prelievo:

I_2 = 770 Kal/Kg. I_1 = 660 Kal/Kg.

Consumo per KWh = $\frac{860}{110}$ /0,75 (1) = ca. 10,5 Kg/KWh

Energia elettrica prodotta 2.000/10,5 = 190 KWh

Prodotta dal vapore a condensa:

I_2 = 770 Kal/Kg. I_1 = 495 Kal/Kg.

Consumo $\frac{860}{110}$ /0,7 = 4,5 Kg/KWh

Energia elettrica prodotta 2.200/4,5 = 490 KWh

Totale = 680 KWh

Condizioni medie di punta:

Si ha una media dei minimi di energia di 580 KW. cui corrisponde una media dei massimi di vapore di 2.700 Kg/h; si ha allora:

VAPORE: Ammissione al turbo: 4.200 Kg/h a 36 ata e 400°
Prelievo intermedio: 2.700 Kg/h a 4,5 ata
Al condensatore: 1.500 Kg/h a 0,05 ata

ENERGIA: Prodotta dal vapore a prelievo:

2.700/10,5 = 255 KWh

— Prodotta dal vapore a condensa:

1.500/ 4,5 = 335 KWh

Totale = 590 KWh

Condizioni di punta massima del vapore:

Le peggiori condizioni sono quelle di 2.850 Kg/h di vapore con 600 KW. di assorbimento; si ha così:

---

(1) Il rendimento del gruppo, limitatamente al primo salto di pressione fra l'ammissione ed il prelievo, è più elevato causa il migliore rendimento volumetrico di questa prima parte della macchina.

VAPORE: Ammissione al turbo: 4.400 Kg/h
Prelievo: 2.850 Kg/h
Al condensatore: 1.550 Kg/h

ENERGIA: Dal vapore a prelievo: 2.850/10,5 = 270 KWh
Dal vapore a condensa: 1.550/ 4,5 = 345 KWh
Totale = 615 KWh

Condizioni di punta massima di energia:

Sono quelle date da 770 KW. richiesti, con un fabbisogno di vapore per l'impianto di 2.050 Kg/h.

In tal caso si dovrebbe avere:

VAPORE: Ammissione al turbo: 4.650 Kg/h
Prelievo: 2.050 Kg/h
Al condensatore: 2.600 Kg/h

ENERGIA: Dal vapore a prelievo: 2.050/10,5 = 195 KWh
Dal vapore a condensa: 2.600/ 4,5 = 580 KWh
Totale = 775 KWh

* * *

L'analisi eseguita ci conferma la possibilità di bilanciare sempre opportunamente la produzione di vapore con quella energia, arrivando a sovraccaricare la caldaia e la turbina solo raramente, per breve tempo, e sempre entro i limiti usualmente ammessi.

Occorre quindi esaminare ora la convenienza economica all'autoproduzione; a tale scopo è opportuno fare talune osservazioni sulle necessità di assicurare all'impianto una sicura e continua fonte di energia elettrica, almeno per una quota parte del fabbisogno totale.

E' noto infatti che in una fabbrica di antibiotici tutto il ciclo fermentativo si deve svolgere sterilmente, e si ottiene questa condizione sia salvaguardando mediante vapore entrate ed uscita dalle tanks, sia tenendo le tanks stesse piene di liquido solo per il 75% circa, lasciando il restante 25% vuoto ed in sovrapressione di aria sterile rispetto all'ambiente: si giunge in tal modo al risultato che qualsiasi perdita può avvenire solo dalla zona sterile alla non sterile, e non viceversa. E' però chiaro che qualora per una qualsiasi ragione venga a mancare l'aria, cessa questa protezione, con conseguente possibilità di inquinamento e perdita del prodotto contenuto nella tank inquinata. Quando si pensi al-

l'elevato costo delle materie prime ivi impiegate, appare evidente come convenga premunirsi contro queste eventualità.

Entra allora in giuoco il numero e la durata delle possibili interruzioni di corrente; quando queste sono rare e brevi può essere sufficiente munire la fabbrica di uno o più compressori di riserva, di non grande portata, azionati da motori a combustione interna; nel caso inverso invece occorre senz'altro avere a disposizione una sorgente di energia elettrica capace almeno di tenere in marcia i compressori d'aria.

Poichè nell'impianto qui considerato, nel caso più sfavorevole, si possono avere in marcia contemporanea 5 fermentatori con rapporto aria/liquido = 1, ed uno con rapporto 0,5, si può dire che la massima quantità di aria richiesta è dell'ordine di 100-110 mc./1', cui corrisponde un assorbimento di energia di circa 300 KW.

Si è già visto che l'energia fornita dal vapore spillato al prelievo intermedio è, in condizioni normali, dell'ordine di 200 KW.; questa sarebbe pertanto in grado di assicurare da sola i 2/3 del massimo assorbimento d'aria richiesto dall'impianto. Viene allora naturale prendere in considerazione l'opportunità di fornire l'impianto solo di una macchina in contropressione, da far lavorare normalmente in parallelo con la rete, e capace, all'occorrenza, di assicurare (sia pure in forma ridotta) la continuità dei servizi indispensabili ad evitare la perdita del prodotto in lavorazione.

La scelta della soluzione più idonea deve essere fatta quindi sia in base ai dati statistici riguardanti la frequenza e la durata delle interruzioni di corrente nella zona ove sorge l'impianto, sia in base ai costi d'esercizio nei diversi casi considerati.

Può essere interessante esaminare, anche soltanto a titolo indicativo, quale può essere la spesa per vapore ed energia elettrica nelle tre ipotesi prospettate e cioè:

A) Produzione di solo vapore a bassa pressione e totale acquisto di energia dall'esterno.

B) Produzione di vapore ad alta pressione con sfruttamento del salto in una turbina a contropressione ed acquisto della rimanente quota dall'esterno.

C) Produzione di vapore ad alta pressione in quantità sufficiente a garantire l'autoproduzione di tutta l'energia necessaria.

Per far ciò occorre partire dalla integrazione dei due diagrammi della fig. 7, stabilendo i consumi totali di vapore e di energia in un intervallo di tempo convenientemente lungo, tale cioè da consentire la ri-

petizione di alcuni periodi interi. Riferendoci ad esempio ad un mese, detti consumi sono di 475.000 KWh e di 1.5000.000 Kg. di vapore; si avrà allora:

Caso A — Spesa mensile per vapore ed energia elettrica autoprodotta.

— Kg. 1. 500.000 di vapore saturo prodotto a 6 Kg/cm² corrispondono a 1.500.000 × 660 = 990 × 10^6 Cal; con un rendimento in caldaia di 0,85 le calorie da fornire sono 1.120 × 10^6, pari a 112.000 Kg. di nafta; ad un prezzo di L. 16 per Kg. si ha	1.800.000
— Il personale occorrente è di n. 9 persone; con un costo globale medio di L. 60.000/pers. si ha	540.000
— Quota mensile di ammortamento (costo presunto L. 35 milioni, ammortamento in 20 anni al 7%)	270.000
— Manutenzione e varie	60.000
— Energia elettrica: KW. 475.000 a L. 11/KWh . . .	5.225.000
	7.895.000

Caso B. — Spesa mensile per vapore con autoproduzione solo a contropressione ed acquisto del rimanente.

— Kg. 1.500.000 di vapore surriscaldato a 36 ata e 400° corrispondono a 1.500.000 × 770 = 1.150 × 10^6 Cal. pari, con rendimento in caldaia di 0,85, a 1.360 × 10^6 Cal. da fornire, equivalenti a 136.000 Kg. di nafta; quindi 136.000 × 16	2.180.000
— Il personale va aumentato di almeno 4 unità quindi 60.000 × 13	780.000
— Quota mensile di ammortamento (costo presunto L. 45 milioni; ammortamento in 20 anni al 7%)	350.000
— Manutenzione e varie	80.000
— Energia elettrica di acquisto: 1,5 × 10^6 Kg. di vapore possono dare circa 145.000 KWh; restano da acquistare 330.000 KWh pari a	3.650.000
	7.040.000

Caso C. — Spesa mensile per vapore ed energia elettrica totalmente autoprodotta.

— Poichè i Kg. 1,5 × 10^6 di vapore richiesti dalla fabbrica producono, come già visto, circa 145.000 KWh, per avere i restanti 330.000, occorrerà produrre ancora 1.500.000 Kg. di vapore a 36 ata e 400°, arrivando ad un totale di 3.000.000 di Kg. circa. A questi corrispondono $3 \times 10^6 \times 770 = 2.300 \times 10^6$ Cal.; con il rendimento in caldaia già visto di 0.85 le calorie salgono a 2.700 × 10^6 pari a Kg. 270.000 di nafta ossia	4.320.000
— Il personale sarà il medesimo del caso B	780.000
— Per la quota di ammortamento, alle condizioni già viste, si è assunto un prezzo di 70.000.000 (L.100.000/KW) e quindi	550.000
— Acqua necessaria all'abbattimento di $1,5 \times 10^6$ Kg. di vapore da inviare a condensa; essa può essere valutata, per il vuoto richiesto (0,05 Kg/cmq.) e per una temperatura di entrata di 18°, in 35 Kg/Kg. di vapore da condensare. Sono così ca. 52.500 mc/mese di acqua che occorrono; a L. 13/mc. sono	680.000
— Manutenzione e varie	130.000
	6.460.000

* * *

I bilanci qui impostati hanno, si ripete, valore indicativo, in quanto sarebbe necessario affinarli non solo introducendo anche le spese di più piccola entità, ma soprattutto stabilendo esattamente i prezzi delle materie prime, della mano d'opera ecc., sensibilmente variabili da luogo a luogo e con il tempo.

E' comunque di estremo interesse il rilevare che la differenza esistente tra il caso A e il caso B è assai maggiore di quella tra il caso B ed il caso C: ciò vuol dire, in altre parole, che se è conveniente sfruttare vapore che deve comunque essere prodotto mediante una turbina a contropressione, tale convenienza diminuisce sensibilmente allorchè si vuol autoprodurre interamente l'energia.

Ne consegue ancora che in una fabbrica di antibiotici la convenienza

dell'autoproduzione totale sarà tanto più sensibile quanto più sarà elevata la richiesta di vapore rispetto a quella di energia elettrica, e quanto più i relativi diagrammi presenteranno andamenti simili.

In un prossimo lavoro quindi, sulle basi qui riportate, si cercherà di esaminare parallelamente impianti di diversa grandezza, allo scopo di cercare di individuare quale sia, a parità di capacità produttiva totale, la suddivisione in unità fermentative che dia le migliori condizioni dal punto di vista della progettazione del gruppo vapore-energia elettrica.

Roma - Istituto Superiore di Sanità - Impianto produzione antibiotici.