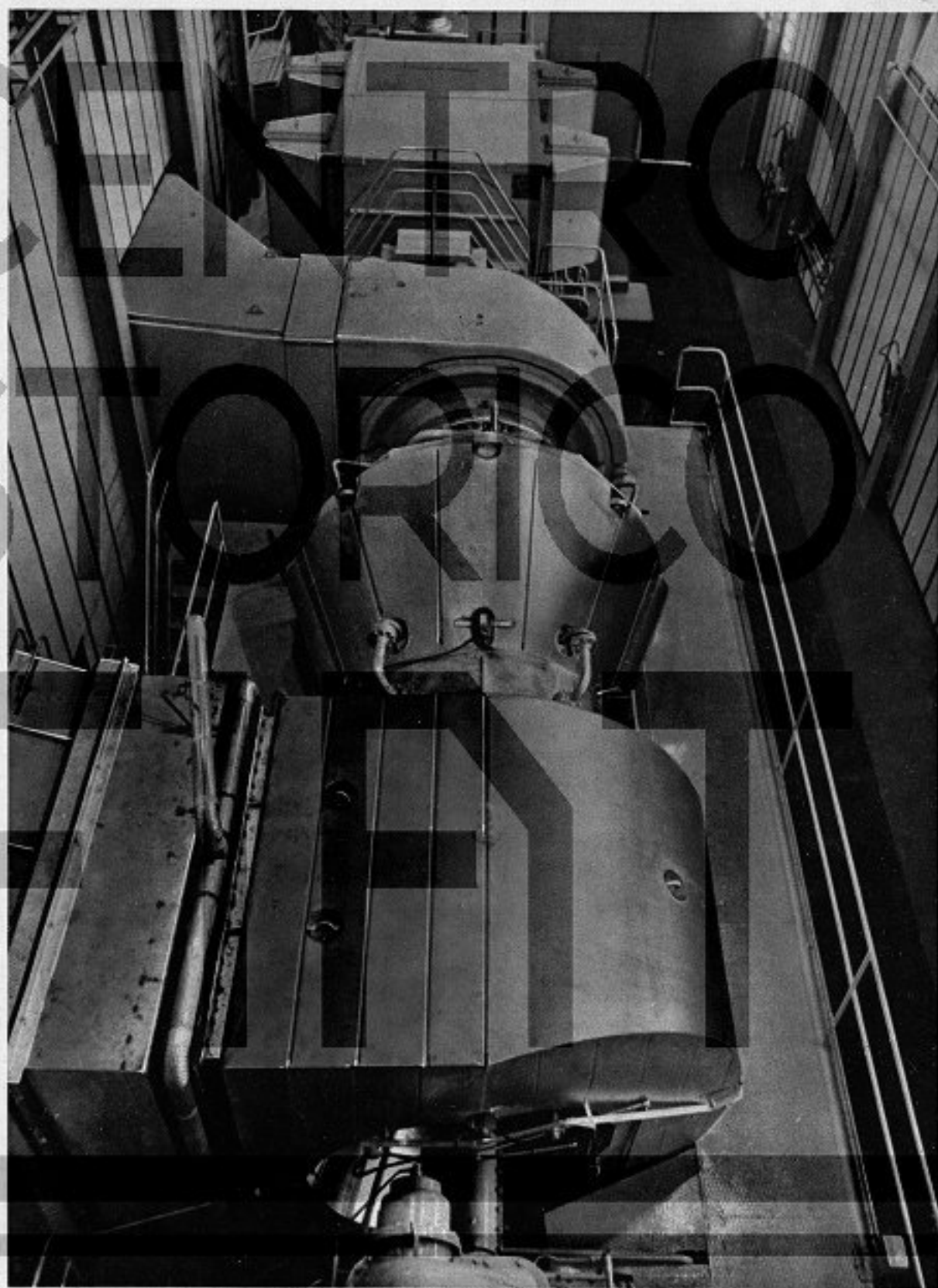


ESTRATTO DAL
BOLLETTINO TECNICO
N. 1 1971 VOL. XXIV
GENNAIO - MARZO

FIAT GRANDI
MOTORI



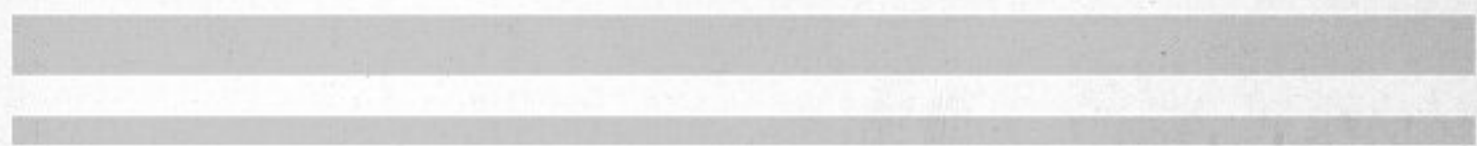
FIAT - GRANDI MOTORI - VIA CUNEO 20 - 10152 TORINO - ITALIA



CENTRO

STORICO

FIAT



Impianto combinato turbina a gas - Turbina a vapore per produzione di energia elettrica e vapore tecnologico in una industria chimica

ing. J. Sauveniere (*) - dott. ing. G. Vidossich

Memoria presentata al Congresso ASME sulle Turbine a Gas
Bruxelles - Maggio 1970

Introduzione

La Soc. Solvay decise nel 1967 di ampliare gli impianti di Jemeppe sur Sambre (Belgio) per aumentare le produzioni in atto e iniziare nuove lavorazioni chimiche.

Si rendeva quindi necessario avere a disposizione altro vapore tecnologico, circa 60 t/h, delle quali il 30% alla pressione di 33 ata ed il resto a 11 ata.

Per ridurre i costi si pensò fosse conveniente combinare alla produzione di vapore anche quella di energia elettrica, riducendo in tal modo l'ammontare di elettricità da acquistare all'esterno.

Impiegando una turbina a vapore a contropressione si otteneva una potenza piuttosto bassa a causa della pressione relativamente alta del vapore tecnologico.

Con vapore prodotto a 85 ata è possibile produrre circa 52 kW/t/h per una contropressione di 33 ata, e 100 kW/t/h per 11 ata. La produzione totale sarebbe stata quindi di circa 5300 kW, un livello troppo basso per essere considerato interessante.

È stata quindi fissata, come minimo per l'impianto combinato, una potenza di 15 MW. Per un simile rapporto potenza/portata di vapore, le soluzioni realizzabili erano: caldaia ad alta pressione più una turbina a vapore a condensazione e spillamento, oppure turbina a gas più una caldaia di ricupero a bassa pressione.

Da un accurato studio tecnico-economico e dalla disponibilità di gas naturale risultò che la soluzione turbina a gas - caldaia di ricupero era la migliore, in particolare per i seguenti vantaggi:

- basso costo di impianto;
- brevi termini di consegna;
- possibilità di produrre potenza indipendentemente dalla caldaia;
- basso fabbisogno di acqua di raffreddamento;

- funzionamento semplice della caldaia;
- basso consumo globale di combustibile.

Durante lo sviluppo del progetto si decise di usare, per avviare l'unità, una piccola turbina a vapore, alimentata da altre caldaie dell'impianto, al posto del normale motore elettrico.

Per motivi di semplicità ed a causa della variabilità della portata richiesta alle due pressioni, venne deciso di progettare la caldaia per produrre tutto il vapore alla pressione di 33 ata, mentre la portata richiesta a 11 ata veniva ottenuta per laminazione attraverso una valvola di riduzione.

A quel punto sembrò interessante unire le due necessità di avviare la turbina a gas e ridurre la pressione del vapore con l'impiego di una turbina a vapore d'avviamento e d'aiuto, la quale, dopo aver avviato la turbina a gas, è impiegata come espansore di vapore per produrre potenza utilizzata per azionare lo stesso alternatore azionato dalla turbina a gas.

L'aumento di potenza che si può ottenere in questo modo è di circa 1400 kW (normale) con una portata di vapore di 35 t/h e 1800 kW (massimo) con una portata di vapore di 45 t/h.

Per questo impiego particolare si pensò fosse utile installare un giunto autosincronizzante tra la turbina a vapore e l'alternatore per permettere l'avviamento e l'arresto della turbina d'aiuto, senza influenza per il funzionamento della turbina a gas.

La turbina a vapore è del tipo ad azione, con due giranti, la prima ad ammissione parziale con ugelli normali e di sovraccarico, la seconda ad ammissione totale.

È fornita di un completo sistema di controllo che regola sia il funzionamento in avviamento sia quello come aiuto ed in particolare permette di innestare il giunto senza urti.

Il circuito dell'olio di lubrificazione è collegato a quello della turbina a gas.

(*) Direttore Tecnico Dipartimento Servizi ed Energia - Solvay & C. i. e. - Bruxelles.

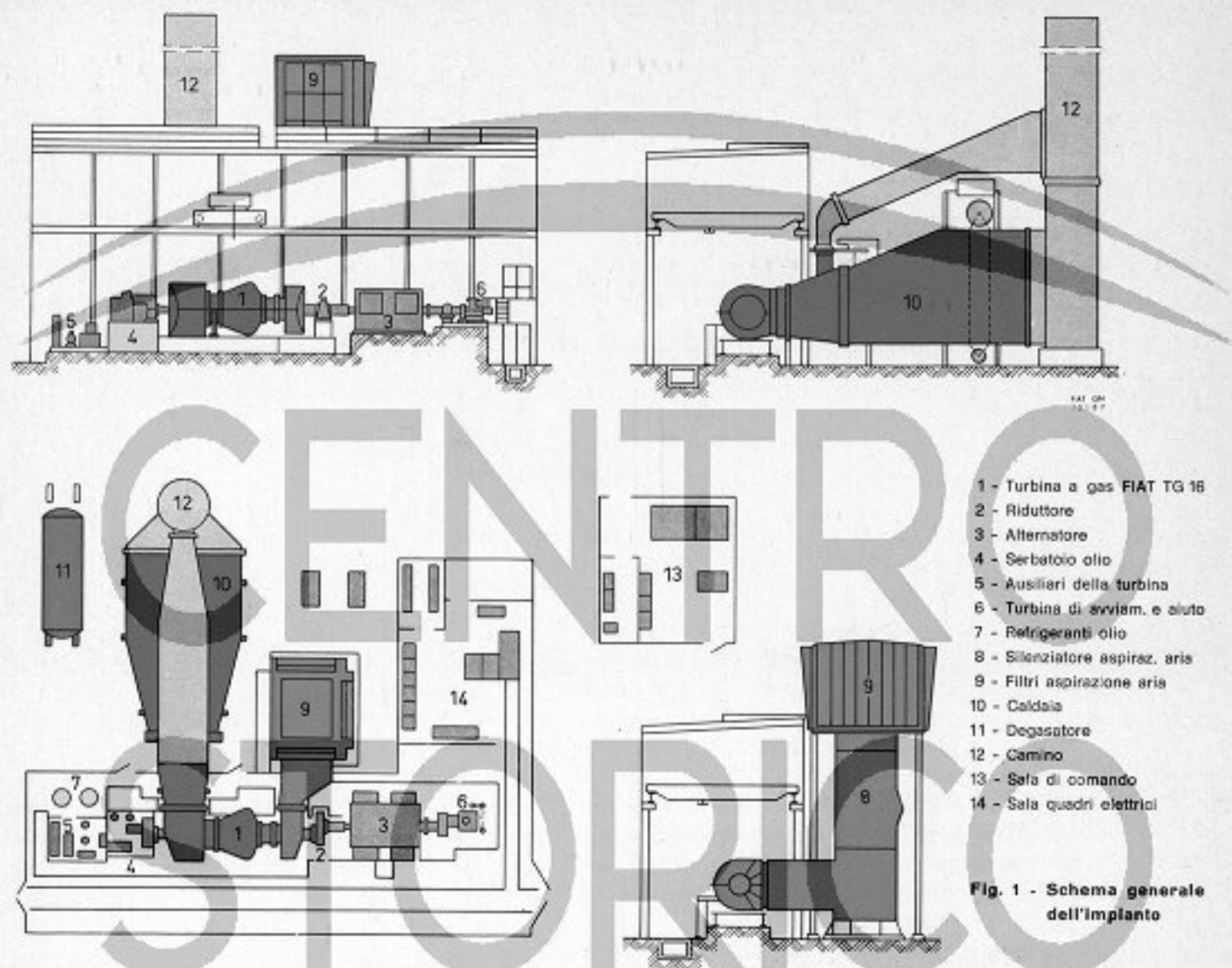


Fig. 1 - Schema generale dell'impianto

Descrizione dell'impianto

Dopo aver stabilito le caratteristiche dell'impianto, si iniziò il progetto dell'installazione.

La logica richiedeva che la nuova centrale fosse situata vicino alla vecchia per facilità di collegamenti elettrici e di vapore e perché situata al centro della fabbrica. Ma, come accade generalmente quando si ampliano impianti esistenti, lo spazio disponibile era molto limitato sia come area sia come forma.

Inoltre doveva essere considerata anche la possibilità di un ulteriore ampliamento con un secondo gruppo con turbina a gas.

Questi fatti portarono ad una soluzione non comune. I filtri ingresso aria sono a livello del tetto, con il silenziatore di aspirazione verticale sottostante. Le tubazioni, esistenti e nuove, per vapore, gas naturale, ecc., corrono sul tetto della centrale.

L'interruttore di macchina ed i quadri elettrici sono in un locale a piano terreno, mentre i quadri di comando locali sono in una stanza al primo piano.

La presenza di un cunicolo cavi nell'area della centrale aggiunse difficoltà al progetto ed all'esecuzione delle fondazioni, le quali sono tutte sopra pali a causa della bassa resistenza del terreno.

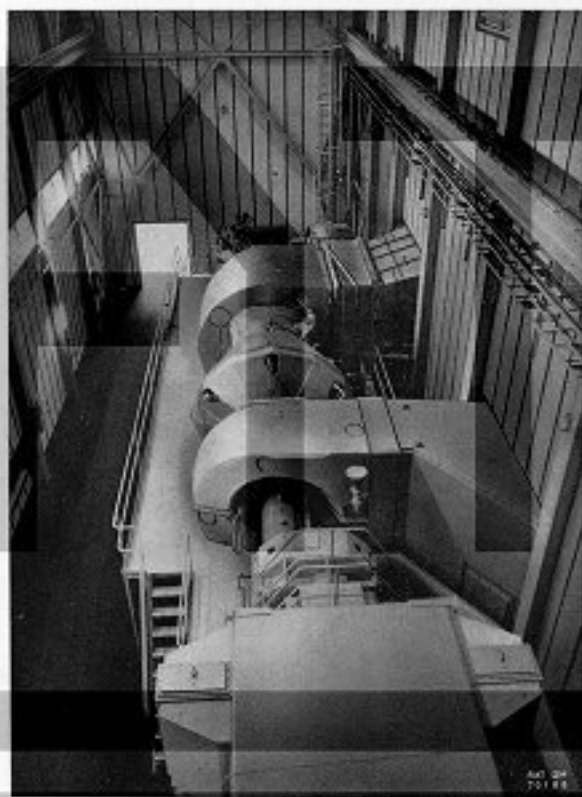


Fig. 2 - Interno della Centrale con la turbina a gas TG 16

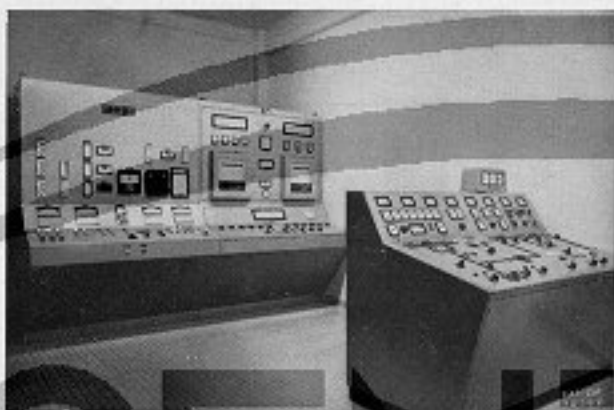


Fig. 3 - Sala quadri. In secondo piano: a destra il pannello di comando della turbina, a sinistra il pannello di comando della caldaia. In primo piano: il pulpito del generatore e della distribuzione

La centrale è situata vicino all'edificio degli uffici, quindi si è dedicata grande cura al problema del silenziamento. Per il rumore all'ingresso del compressore è stato sistemato un silenziatore nel condotto di aspirazione, mentre per il rumore all'uscita dalla turbina la caldaia stessa fa da silenziatore.

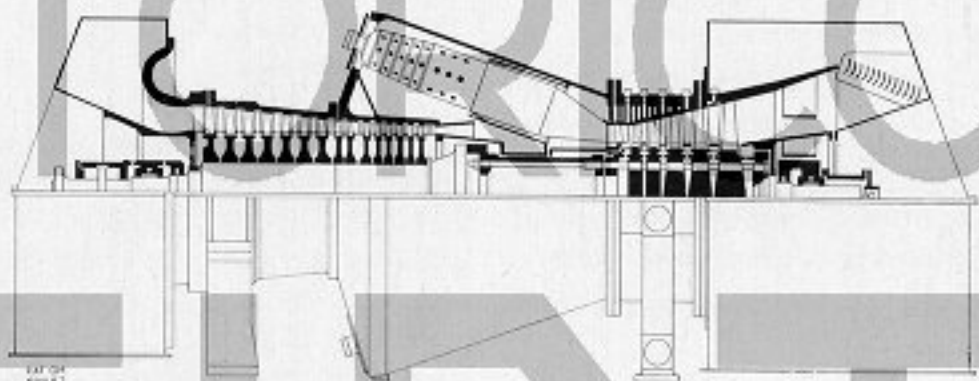


Fig. 4 - Turbina a gas TG 16. Sezione longitudinale

Le pareti dell'edificio della centrale sono in mattoni, per uguaglianza con la vicina pre-esistente centrale. I mattoni sono un buon materiale isolante acustico, ma per un miglior isolamento dal rumore proveniente dalla Sala Macchine si è aggiunto all'interno delle pareti uno strato di pannelli insonorizzanti.

Il camino di scarico della caldaia è alto 40 metri. Uno schema generale dell'impianto è indicato nella figura 1; nella fig. 2, una vista interna della centrale e nella fig. 3 la sala quadri.

Descrizione del macchinario

La turbina a gas FIAT installata in questo impianto è del tipo TG 16, da 17850 kW di potenza alle condizioni di riferimento CIMAC.

L'unità è monoalbero, a ciclo semplice aperto, e, come si vede nella figura 4, sezione longitudinale, consiste di un compressore assiale a 15 stadi, un combustore con 6 camere di combustione, ed una turbina assiale a 5 stadi.

I rotori del compressore e della turbina sono collegati rigidamente in modo da formare un solo rotore a due supporti, rendendo così compatta e di facile allineamento l'unità.

La turbina a gas è montata su una sottobase di acciaio, la quale si prolunga all'estremità lato turbina per formare il serbatoio dell'olio. Sopra il serbatoio dell'olio sono installati alcuni ausiliari come il gruppo ingranaggi ausiliari (viratore, pompa olio principale, ecc.) le elettropompe olio ausiliaria e di emergenza, il quadro valvole di controllo del gas naturale, ecc. Dietro il serbatoio olio, sopra una sottobase più piccola, sono montati altri ausiliari dell'unità, come il quadro strumenti, il compressore aria d'avviamento, i filtri olio di lubrificazione, ecc.

La figura 5 mostra una turbina a gas TG 16 in montaggio nella Sala Prove.

All'estremità lato compressore si trovano nell'ordi-

ne il riduttore principale, anch'esso montato su una sottobase in acciaio; l'alternatore ACEC-Charleroi da 26,5 MVA, e il gruppo d'avviamento e d'aiuto.

Quest'ultimo, montato su una piccola sottobase, consiste di un riduttore, un giunto automatico SSS, ed una turbina a vapore CNTR per avviare la turbina a gas, che può sviluppare fino a 1800 kW in funzionamento continuo, come aiuto.

I vari gruppi della turbina a gas che sono montati su sottobasi sono completamente montati e cablati nell'officina del costruttore, e provati al banco con la turbina. In questo modo si controlla il funzionamento e i corretti collegamenti degli ausiliari, riducendo il tempo necessario per il montaggio ed il controllo in sito.

La turbina a gas scarica in una caldaia di ricupero

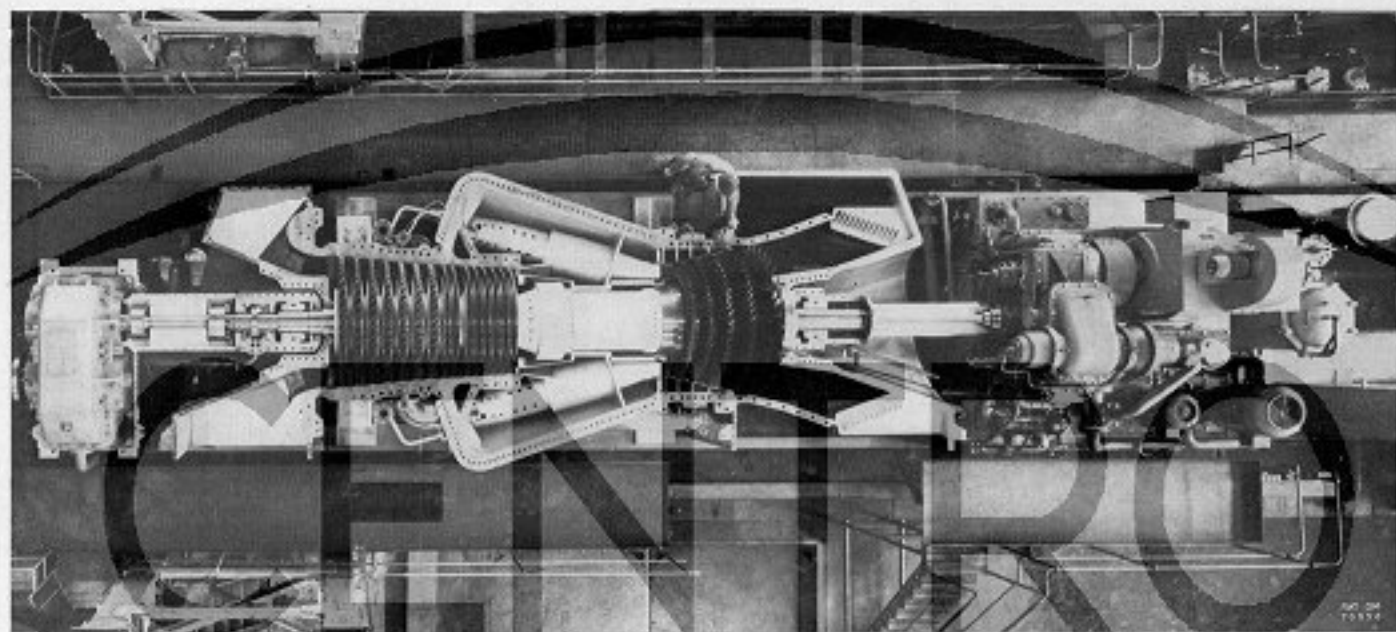


Fig. 5 - Turbina a gas TG 16 e ausiliari in sala prove

Cockerill-Ougree-Providence per produzione di vapore tecnologico.

La caldaia è del tipo a tubi verticali con due corpi cilindrici e, come mostra la figura 6, consiste di:

- un apparato di combustione supplementare, a gas naturale, sistemato nel condotto del gas di scarico;
- un surriscaldatore del vapore, a tubi verticali;
- una caldaia BI, con tubi alettati verticali mandrinati nei due corpi cilindrici (superiore e inferiore);
- un economizzatore, con tubi alettati orizzontali e collettori verticali;
- una caldaia BII, di costruzione simile all'economizzatore.

Come è noto per evaporare e surriscaldare il vapore, è possibile usare il calore corrispondente al raffreddamento dei gas dalla temperatura di ingresso in caldaia fino ad una temperatura più alta di quella dell'acqua bollente in caldaia.

La differenza tra la temperatura minima del gas all'uscita della caldaia BI e la temperatura dell'acqua bollente, la cosiddetta « strozzatura » di temperatura, è stata mantenuta al valore minimo tecnicamente possibile, cioè 19 °C per semplice ricupero e 37 °C con combustione supplementare.

Il combustibile gassoso usato sia in turbina sia in caldaia è il gas di Gröningen olandese, il quale è di ottima qualità e contiene solo piccolissime quantità di zolfo.

Per proteggere i tubi della caldaia contro la pos-

sibilità di corrosione da condensazioni acide in caso di un futuro aumento del contenuto di zolfo, la temperatura minima dell'acqua nei tubi è stata fissata a 105 °C, ed è quindi questa la temperatura di ingresso nell'economizzatore.

L'acqua di alimentazione, la quale è a 30 °C, deve essere riscaldata alla temperatura di ingresso nell'economizzatore esternamente alla caldaia, nel serbatoio del degasatore, per mezzo di vapore.

Questo vapore può essere estratto dall'uscita della caldaia BI, ma in tal modo la portata di vapore utile è ridotta del 15% circa.

Siccome la temperatura del gas all'uscita dell'economizzatore è ancora alta diventa possibile estrarre da tale gas il calore necessario per aumentare la temperatura dell'acqua di alimentazione da 30 a 105 °C.

Dell'acqua a 105 °C dal degasatore è fatta circolare in circuito chiuso nella caldaia BII, dove è fatta evaporare alla stessa temperatura.

Questo vapore che rientra nel degasatore cede il calore di condensazione all'acqua di alimentazione.

Questa sistemazione è un po' complicata ma permette di ottenere la massima utilizzazione del calore del gas di scarico. Le prestazioni previste della caldaia sono riassunte nella tabella A.

La caldaia è fornita anche di un condotto di by-pass che permette di deviare il gas di scarico direttamente al camino.

È quindi possibile far funzionare la turbina durante i pericoli di revisione della caldaia, mantenendo in tal modo la produzione di potenza.

Tabella A - Prestazioni caldaia di recupero

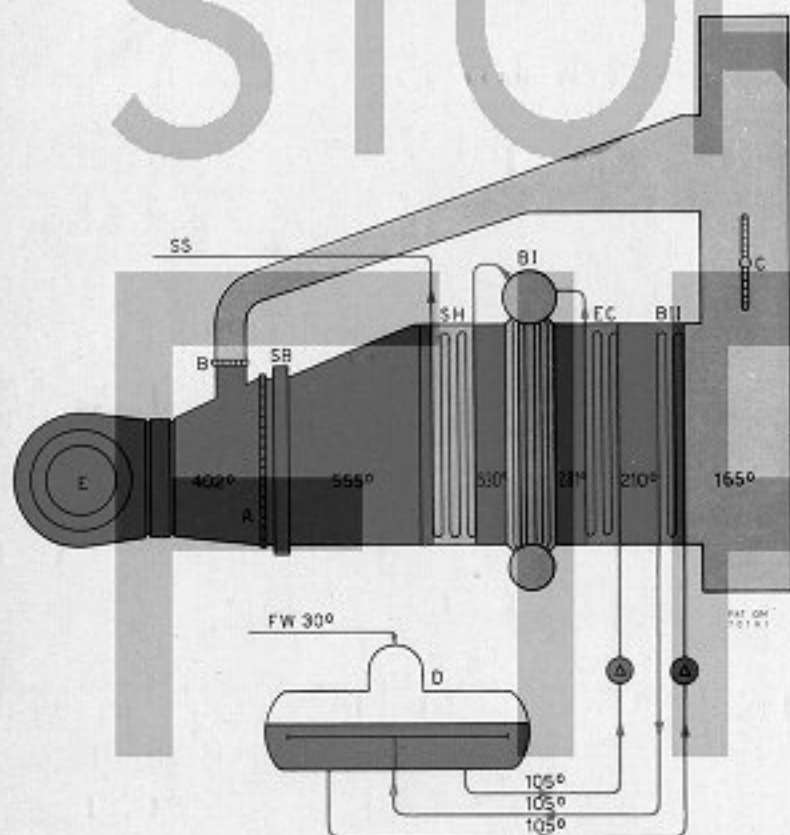
		NO	SI
Combustione supplementare			
Portata gas di scarico	kg/s	115,5	115,5
Combustione supplementare - portata gas naturale	Nm ³ /h	0	2250
- calore fornito	Gcal/h	0	17,1
Temperatura gas scarico - allo scarico turbina	°C	402	402
- dopo bruciatori supplem.	°C	402	555
- alla uscita caldaia II	°C	183	165
Perdite di pressione lato gas	mmH ₂ O	240	270
Portata vapore	t/h	33,5	60
Temperature - acqua all'entrata degasatore	°C	30	30
- » » economizzatore	°C	136	105
- » e vapore nella caldaia	°C	240	240
- vapore surriscaldato	°C	286	300
Pressione vapore surriscaldato	ata	33	33

Nei condotti sono sistemati tre registri come indicato nella figura 6. I registri A e B sono comandati a distanza e collegati tra di loro, di modo che ognuno di essi può chiudersi solo quando l'altro è completamente aperto.

Il registro C è comandato manualmente, e viene chiuso solamente durante i periodi di revisione della caldaia per evitare ogni riflusso di gas di scarico dal camino nella caldaia.

L'apparato di combustione supplementare è situato tra il registro A e la caldaia, ed è del tipo « a griglia ».

Sei bruciatori di gas verticali e sei orizzontali formano una griglia attraverso il percorso del gas di scarico. La miscelazione del gas naturale con l'ossigeno per la combustione è quindi molto buona, come anche l'uniformità della temperatura dopo il bruciatore.



- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| A - Registro ingresso caldaia | SB - Bruciatori supplementari |
| B - Registro By-pass | SH - Surriscaldatore |
| C - Registro a farfalla camino | BI - Caldaia I |
| D - Degasatore | EC - Economizzatore |
| E - Turbina a gas | BII - Caldaia II |

Fig. 6 - Schema della caldaia di recupero

Prestazioni

Questo gruppo generatore è stato previsto per funzionamento a carico di base, per ridurre l'acquisto di energia dalla rete elettrica esterna.

Perciò la turbina a gas funziona sempre a pieno carico e la differenza alla potenza totale richiesta dall'impianto è presa dalla rete elettrica esterna.

Anche la caldaia è fatta funzionare a carico di base e la produzione minima di vapore corrisponde al funzionamento senza combustione supplementare. Non è previsto il funzionamento con registri mezzi aperti e deviazione di parte dei gas di scarico direttamente al camino.

Perciò le sole prestazioni interessanti sono quelle relative al funzionamento a pieno carico.

Le figure 7 e 8 mostrano uno schema dell'impianto e un diagramma di Sankey per la condizione di massimo carico.

Le prestazioni nominali senza e con combustione supplementare, e senza e con turbina a vapore d'aiuto sono indicate nella tabella B.

Per determinare il consumo di calore da addebitare alla produzione di energia elettrica fu concordato di sottrarre dal consumo totale di calore dell'impianto, il calore che sarebbe necessario per produrre la stessa portata di vapore in una caldaia separata a combustione diretta.

Il consumo specifico di calore relativo alla produzione di energia elettrica è assai basso, e per questa ragione gli impianti combinati di questo tipo sono di grande interesse per molte industrie le quali necessitano sia di vapore sia di energia elettrica.

La presenza della turbina a vapore d'aiuto, di basso costo ed in ogni caso necessaria per l'avviamento, contribuisce a ridurre ulteriormente il consumo specifico di calore.

Regolazione

Dato che la turbina funziona normalmente a pieno carico in parallelo con la rete elettrica esterna il suo sistema di controllo è usato solamente per fissare il livello di potenza e per evitare il funzionamento in sovratemperatura. Ciò può essere ottenuto sia manualmente dall'operatore oppure automaticamente dal sistema di limitazione della temperatura di scarico.

Più complesso è il controllo della turbina a vapore d'avviamento e d'aiuto. Per l'avviamento essa è comandata automaticamente dal sistema sequenziale della turbina a gas per mezzo di segnali pneumatici.

Un primo segnale pneumatico (6 psig) mette a punto il regolatore della turbina a vapore per permettere di raggiungere la velocità di 1600 giri/min della turbina a vapore, corrispondente al 20% della velocità normale.

Il gruppo è mantenuto a questa velocità circa 5 minuti per un periodo di «purga» di ogni possibile accumulo di combustibile gassoso sfuggito dai bruciatori della turbina a gas e della caldaia. Dopo la «purga» un secondo segnale di pressione al regolatore permette che la turbina a vapore acceleri l'unità fino alla velocità di autosostentamento. Indi la turbina a vapore viene fermata e il giunto di collegamento si disinnesta automaticamente.

Quando la turbina a gas funziona alla piena velocità e l'alternatore è in parallelo con la rete, se c'è abbastanza richiesta di vapore a 11 ata che giustifichi il funzionamento della turbina a vapore, essa può essere avviata.

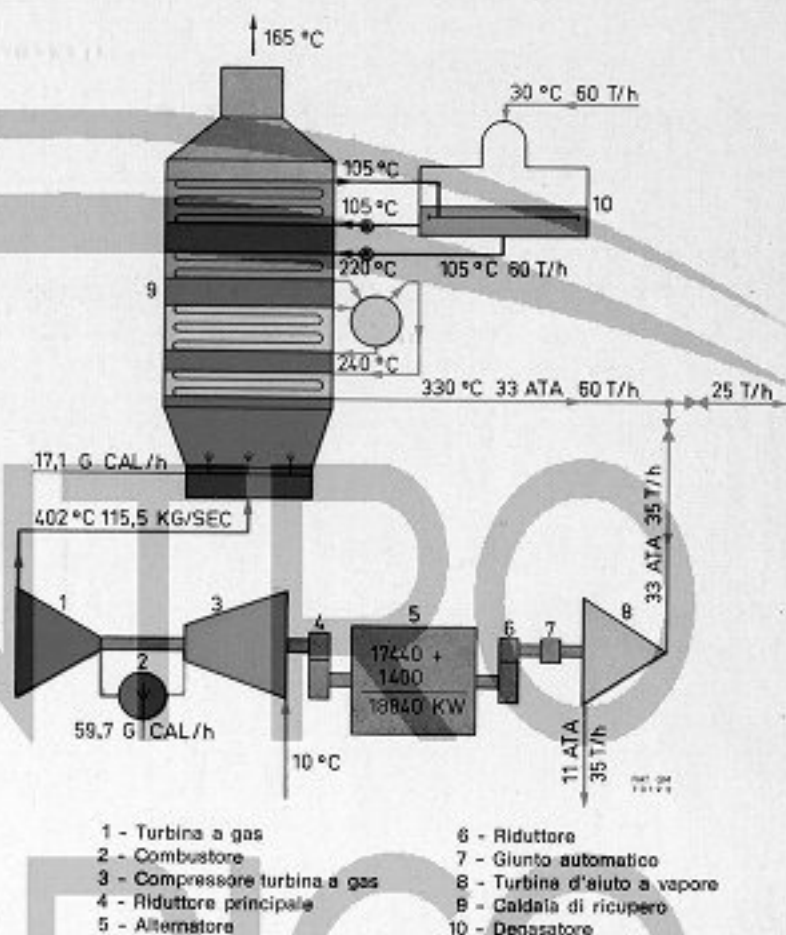


Fig. 7 - Schema dell'impianto

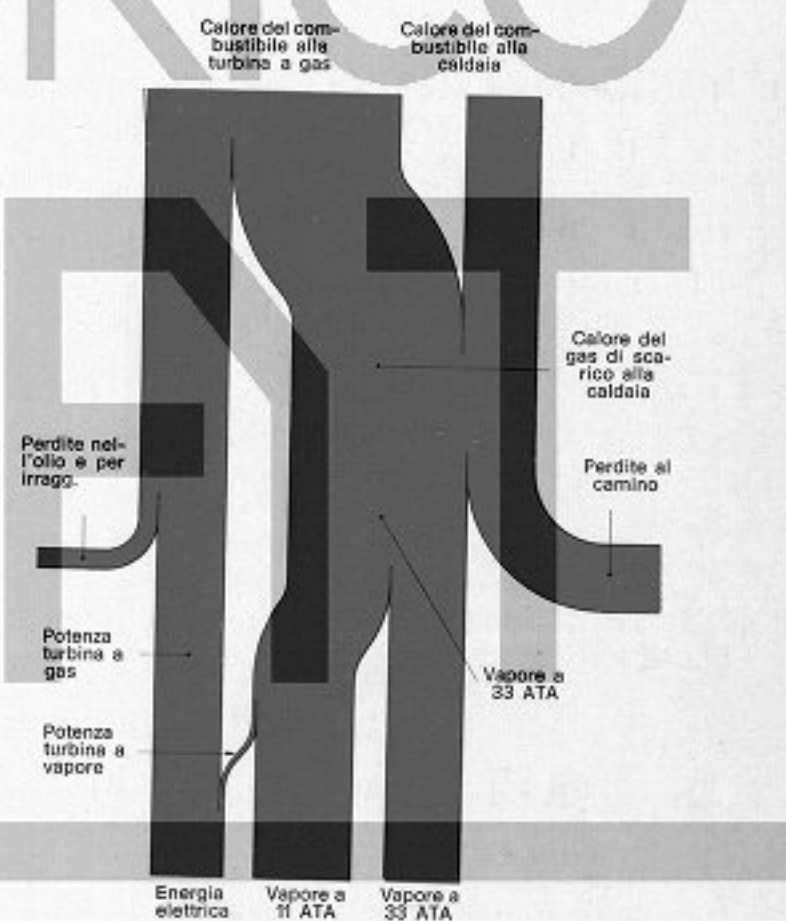


Fig. 8 - Diagramma di Sankey dell'impianto

L'avviamento è manuale.

Per mezzo di un variagiri pneumatico, agente sul regolatore, la turbina a vapore accelera gradualmente fino alla velocità dell'alternatore.

Quando si raggiunge il sincronismo con l'alternatore, il giunto di collegamento si innesta automaticamente, e la turbina può sviluppare potenza. Quando il funzionamento della turbina è stabilizzato, il comando viene trasferito al regolatore della pressione di entrata il quale controlla la valvola ingresso vapore per mantenere la pressione di entrata praticamente costante.

Dato che i processi tecnologici alimentati dal vapore a 33 ata non possono ammettere interruzioni di portata, la rete vapore a 33 ata è considerata prioritaria rispetto alla rete ad 11 ata, e la regolazione del sistema vapore è stata prevista in quella direzione.

In parallelo con la turbina a vapore d'aiuto c'è una valvola automatica riduttrice di pressione comandata anch'essa dalla pressione a 33 ata, la quale funziona quando la turbina a vapore è ferma o quando la portata che deve essere ridotta da 33 a 11 ata è maggiore della capacità della turbina a vapore (Vedi fig. 9 - schema della regolazione del vapore).

In fine arriviamo al controllo della caldaia di recupero. La portata dell'acqua di alimentazione e il livello dell'acqua in caldaia sono controllati in modo normale.

Quando la caldaia funziona senza combustione supplementare non è possibile alcuna regolazione della portata di vapore. La caldaia di recupero produce la portata relativa alle caratteristiche del gas di scarico della turbina a gas (portata e temperatura) e le altre caldaie dell'impianto, a combustione diretta, provvedono a regolare la portata totale di vapore.

Tabella B - Prestazioni dell'impianto riferite ad un ambiente a 10 °C e 750 mmHg

		NO	SI
Combustione supplementare		NO	SI
Turbina a vapore d'aiuto		NO	SI
Consumo turbina a gas	Gcal/h	59,7	59,7
Consumo combustione supplementare	Gcal/h	0	17,1
Consumo totale	Gcal/h	59,7	76,8
	%	100,0	100,0
Potenza turbina a gas	kW	17.440	17.440
	Gcal/h	15,0	15,0
Potenza turbina a vapore d'aiuto	kW	0	1.400
	Gcal/h	0	1,2
Potenza elettrica totale	kW	17.440	18.840
	Gcal/h	15,0	16,2
	%	25,1	21,1
Vapore utile a 33 ata	t/h	33,5	25
contenuto di calore riferito a 30 °C	Gcal/h	22,9	17,1
Vapore utile a 11 ata	t/h	0	35
contenuto di calore riferito a 30 °C	Gcal/h	0	22,6
Calore totale utile del vapore	Gcal/h	22,9	39,7
	%	38,4	51,7
Perdite al camino	Gcal/h	17,5	15,7
Perdite nell'olio e per irraggiamento	Gcal/h	4,3	5,2
Perdite totali	Gcal/h	21,8	20,9
	%	36,5	27,2
Rapporto di utilizzazione calore E + S (energia elettrica + vapore)	%	63,5	72,8
Consumo di calore in una virtuale caldaia a combustione diretta per produrre il vapore d'impianto $B = S/0,9$	Gcal/h	25,5	44,1
Consumo specifico di calore da addebitare alla produzione di elettricità $H = (C - B)/E$	kWh	1960	1735
Rendimento corrispondente	%	43,9	49,5

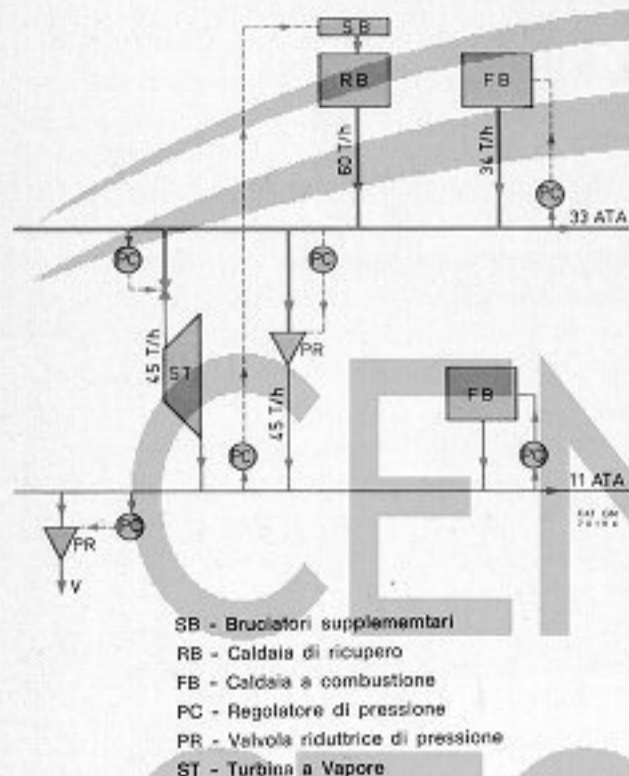


Fig. 9 - Schema regolazione vapore

Quando la combustione supplementare della caldaia di recupero è accesa, essa è regolata dalla pressione della rete vapore a 11 ata.

Per esempio, se c'è un aumento di consumo nella rete a 11 ata, la pressione della stessa diminuisce, e la portata del gas naturale ai bruciatori della caldaia aumenta. Perciò pure la produzione della caldaia a 33 ata aumenta e la pressione nella rete a 33 ata tende ad aumentare.

La valvola di controllo della turbina d'aiuto, o il riduttore di pressione, si apre, permettendo l'espansione a 11 ata di maggior vapore e quindi soddisfacendo il fabbisogno di vapore a 11 ata.

Ogni altra variazione può essere controllata in modo simile.

I dispositivi di comando e di controllo sono installati in quadri variamente situati. Nella Sala Quadri locale c'è il quadro comando turbina a gas con il selettore principale e quello degli ausiliari, gli strumenti indicatori e registratori, e tutti i relé per la sequenza di avviamento e per le protezioni.

Da quel quadro la turbina a gas può essere avviata e regolata a carico.

Vicino alla turbina a vapore c'è il suo quadro comando per avviare e portare a carico questa turbina quando funziona come aiuto.

Nella Sala Quadri centrale, insieme con i quadri comando degli impianti già esistenti c'è un quadro comando a distanza della turbina a gas, con strumenti per comandare la turbina a gas, quando è a carico, e per indicare i principali parametri di funzionamento.

Perciò, quando la turbina a gas è a carico, e la turbina a vapore è sotto il controllo del regolatore pressione di ingresso, l'unità può funzionare senza personale in sala quadri locale, comandata a distanza dalla sala quadri centrale.

Conclusioni

Il numero di impianti combinati con turbine a gas e caldaie di recupero, sta continuamente aumentando presso le industrie. Prima ancora della messa in servizio del primo gruppo (che è entrato in regolare servizio nel febbraio 1970) la Soc. Solvay ne ha ordinato un secondo uguale.

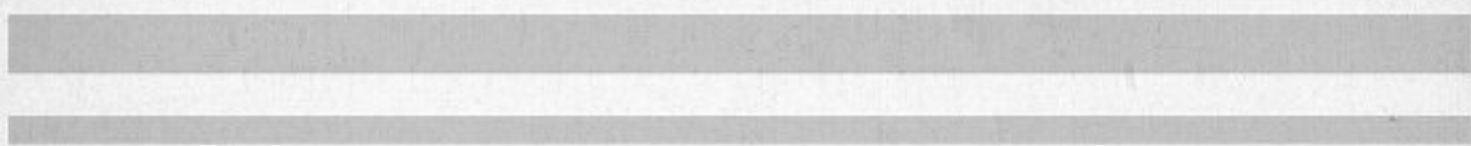
Il caso in questione, con la peculiare caratteristica della turbina a vapore d'avviamento e d'aiuto, la cui installazione è stata suggerita dalla necessità di vapore tecnologico a due livelli di pressione, indica quale flessibilità di progetto è possibile con gli impianti combinati sì da soddisfare le più diverse necessità degli impianti industriali.

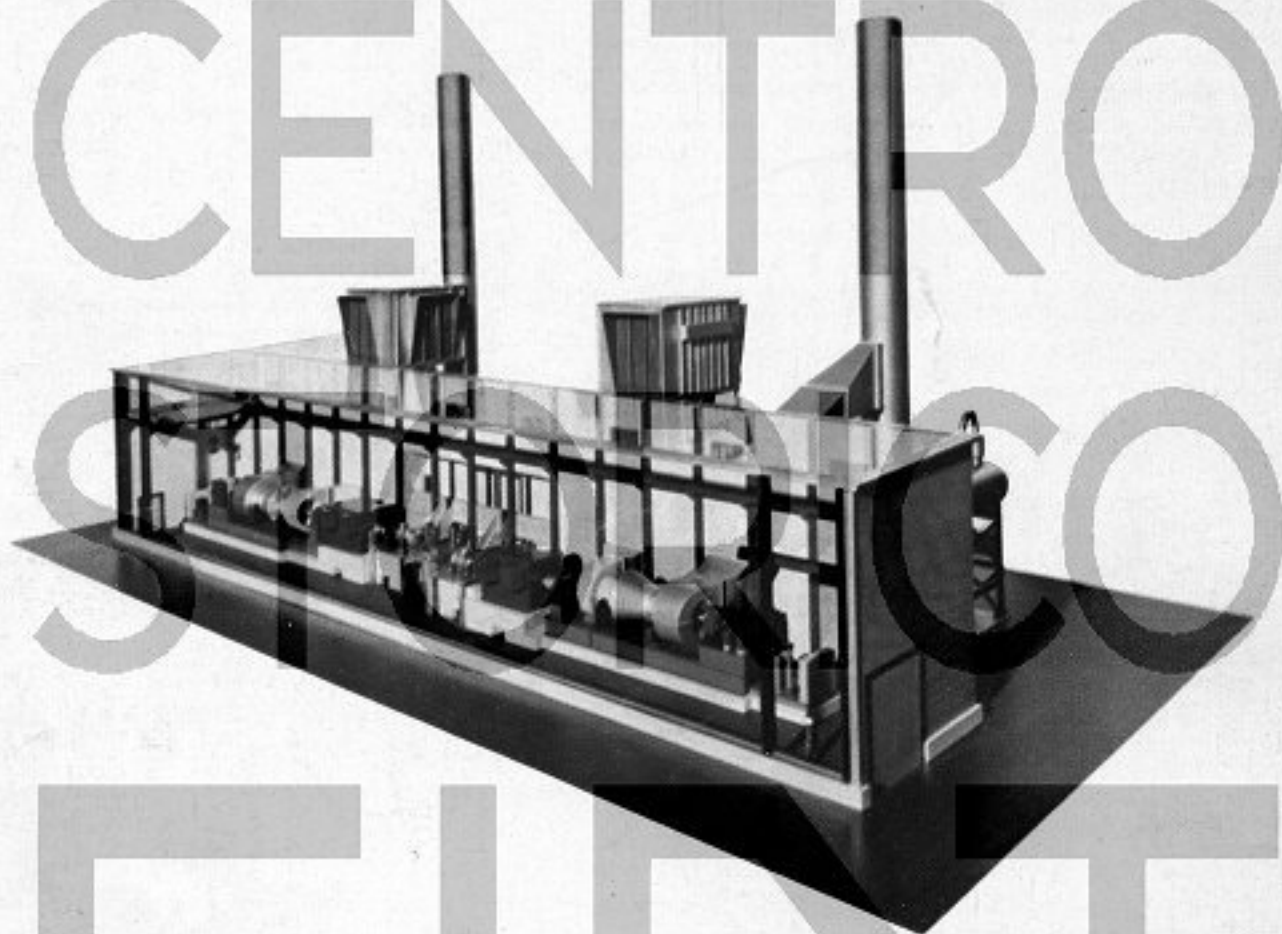


CENTRO

STORICO

FIAT





Modello della Centrale di Jemeppe sur Sambre (Belgio) della Soc. Solvay, ampliata con una nuova turbina a gas TG 16