

DESCRIZIONE TECNICA

Il ciclo termodinamico di base di una turbina a gas è il ciclo Brayton (o Joule), che prevede una compressione adiabatica dell'aria (rapporti di compressione da 16:1 in turbine industriali, fino a 30:1 e oltre nelle aeroderivative [1]), un riscaldamento a pressione costante realizzato nella camera di combustione e l'espansione adiabatica dei gas combusti fino alla pressione atmosferica. Nella turbina a gas il rendimento è un parametro basilare, ma altrettanto lo è la capacità di produrre lavoro utile, che è influenzata dalla temperatura ambiente dell'aria aspirata.

I componenti principali di una turbina a gas sono il condotto di aspirazione aria con i filtri, il compressore, i bruciatori e la camera di combustione, la turbina e il condotto di espansione. Il compressore è in asse e viene trascinato dalla stessa turbina a gas assorbendo più del 50% della potenza meccanica generata [1]. Il collegamento con il generatore elettrico è costituito da un giunto rigido nelle macchine di maggior taglia (heavy duty) mentre con turbine di minore potenza, spesso aeroderivative, è interposto un riduttore. I gas esausti sono scaricati direttamente al camino, di altezza almeno intorno ai 30 m, se la turbina in ciclo semplice è utilizzata al solo scopo di generazione di energia elettrica. Nei diversi settori industriali in cui le turbine a gas in ciclo semplice trovano una non trascurabile diffusione, i gas di scarico a temperature comprese tra 450÷600 °C vengono utilizzati per la cogenerazione di energia termica per scopi di processo o di climatizzazione o, ancora, per piccole reti di teleriscaldamento.

Le turbine a gas hanno fatto la loro comparsa pionieristica fin dai primi anni del 1900, ma un deciso salto qualitativo nelle prestazioni è stato ottenuto con l'introduzione di nuovi materiali metallici nelle palettature fisse e mobili, con l'introduzione di barriere termiche ceramiche e di tecniche di raffreddamento delle palettature fisse e rotanti ad aria e più recentemente a vapore (a ciclo chiuso sulle sole parti fisse). Tali tecnologie, sempre più sofisticate, nell'insieme hanno permesso di raggiungere temperature di ingresso dei gas in turbina sempre più elevate. A questi, si possono aggiungere altri aspetti che interessano il ciclo termodinamico, quali la refrigerazione dell'aria aspirata dal compressore, il preriscaldamento dell'aria comburente a valle del compressore (rigenerazione), la ricombustione interstadio dei gas durante l'espansione in turbina.

Le turbine a gas dell'ultima generazione di classe H e J hanno temperature dei gas all'ingresso in turbina che raggiungono i 1400÷1500 °C, rendimenti dichiarati che superano il 40% in ciclo semplice; la potenza elettrica netta della sola turbina a gas può superare i 300 MW, con la turbina di maggior taglia che supera largamente i 400 MW [2].

Le unità turbogas destinate alla generazione di energia elettrica installate in Italia fino ai primi anni '90 avevano potenze nominali non superiori a 125 MW, temperature dei gas all'ingresso in turbina di circa 1100 °C e un rendimento intorno al 32%. Queste macchine operavano in ciclo semplice ed erano destinate alla sola copertura dei carichi di punta. Attualmente questi impianti sono stati quasi tutti dismessi o sono in via di dismissione.

Nel settore industriale dove la turbina a gas a recupero semplice opera a scopi cogenerativi (CHP, Combined Heat and Power), il rendimento complessivo arriva al 70% circa [3]. In questo caso la potenza delle turbine a gas, spesso di tipo aeroderivativo (nella Figura 1 una turbina GE-LM6000), è solitamente contenuta entro i 50 MW.

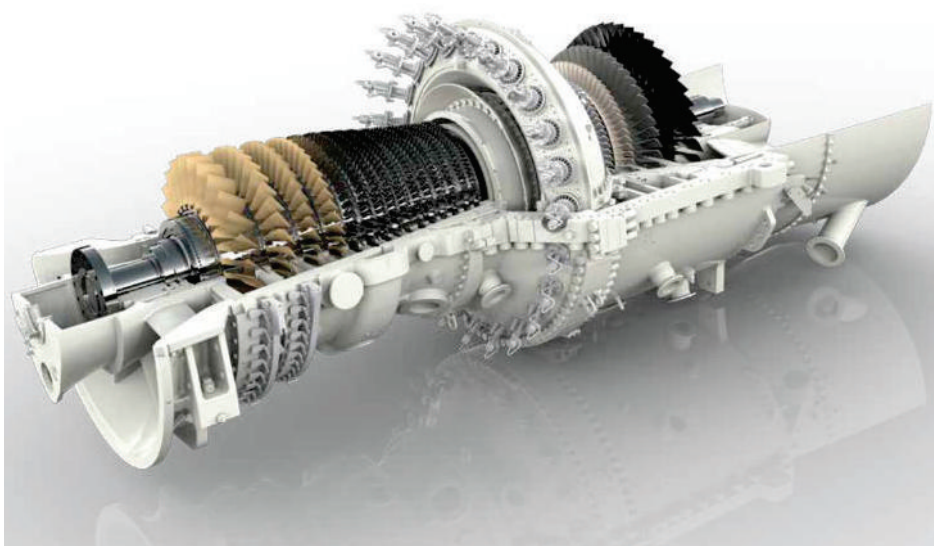


Figura 1 Turbina GE-LM6000

STATO DI AVANZAMENTO

Internazionale

Un tentativo di censimento on-line degli impianti con turbina a gas in ciclo semplice è stato condotto servendosi di pagine web relative a 4 Stati: Germania, Francia, Regno Unito e Spagna. [6] [7].

I risultati elencati in tabella sono con ogni evidenza parziali e non esaustivi (OCGT, Open Cycle Gas Turbine; CHP, Combined Heat and Power).

	OCGT		CHP	
	N°	MW	N°	MW
Germania	8	740	16	993
Francia	13	1265	5	222
UK	9	408	3	77
Spagna	1	150	2	41

Si ritiene che il censimento effettuato sia ancor più lacunoso per ciò che riguarda gli impianti dedicati alla cogenerazione, molti dei quali sono in esercizio presso industrie private. Gli impianti CHP censiti sono quasi tutti dedicati al teleriscaldamento di insediamenti urbani.

Pur nella loro incompletezza, i dati ottenuti testimoniano il limitato utilizzo alla data corrente delle turbine a gas in ciclo semplice.

Nazionale

Da dati TERNA relativi all'anno 2014 [4], si stima che la potenza efficiente netta di impianti con turbina a gas in ciclo semplice destinati a sola produzione di energia elettrica ammontava a 1433.2 MW, costituiti da 41 unità (sezioni) con potenza nominale fino a 25 MW, 7 unità oltre 50 MW e fino a 100 MW, 6 unità oltre 100 MW e fino a 200MW. La potenza efficiente netta di impianti con produzione combinata di energia elettrica e calore a turbina a gas viene considerata pari a 379.5 MW, distribuiti su 59 unità con potenza nominale fino a 25 MW, 3 unità oltre 25 MW e fino a 50 MW, 1 unità oltre 100 MW e fino a 200MW.

Da un rapporto GSE [5] relativo agli impianti cogenerativi ammessi all'incentivazione CAR (Cogenerazione ad Alto Rendimento), con dati riferiti all'anno 2013, si ricava che le unità CAR con turbina a gas in ciclo semplice erano 53, per una capacità di generazione complessiva di 340 MW.

TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

Gli impianti con turbina a gas in ciclo semplice sono una tecnologia con maturità acquisita da parecchi anni e solo marginali possibilità di incremento di efficienza, in particolare sulle macchine di taglia medio-piccola che sono quelle più diffuse nell'industria per utilizzo in configurazione CHP.

RELAZIONE CON LE FONTI ENERGETICHE

- Gas naturale
- Syngas (in particolare su impianti associati a raffinerie)
- Distillati (nafte, kerosene, gasolio, in particolare per turbine aeroderivative)
- Carbone atomizzato in sospensione in gas [1]
- Semi-solidi atomizzati derivati da biomassa liquida da rifiuti [1].

VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

Impianti in ciclo semplice, più spesso in configurazione CHP, conoscono una certa diffusione in una molteplicità di settori industriali.

IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Per 2 turbine GE LM2500 da 25 MW e GE LM6000PD da 40 MW con rendimenti LHV netti rispettivamente del 38% e 41%, sono riportati i seguenti valori [10]:

CO₂ : 528/489 [kg/MWh]
NO_x : 0.408÷0.227 [kg/MWh]

Le emissioni di ossidi di zolfo e particolato sono pressochè trascurabili.

Emissioni CO₂/MWh

Un valore indicativo di emissioni di CO₂ può essere assunto pari a 500÷600 kg/MWh [10].

Emissioni CO₂/MWh evitate

L'applicazione di impianti di cattura della CO₂ emessa nei fumi di scarico dalle suddette categorie di impianti risulta del tutto improbabile allo stato dell'arte.

EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

Valori tipici di rendimento netto LHV (Low Heating Value) per impianti con turbine a gas in ciclo semplice dedicate alla sola generazione di energia elettrica si possono individuare in un campo di valori dal 30% a poco più del 40% [2]. Vengono anche indicati valori più alti, ovvero dal 35% al 42% [11]. I maggiori valori di rendimento non sono necessariamente associati alle turbine heavy duty di media o grande taglia; valori elevati (41÷42%) sono riscontrabili in turbine aeroderivative di potenza non superiore a 40÷50 MW.

Vi sono fattori ambientali come temperatura, umidità e altezza che incidono in misura non trascurabile sul rendimento di una turbina a gas. L'utilizzo di combustibili liquidi comporta, a parità di macchina e di tecnologia, una perdita di 2÷3 punti percentuali di potenza e di 1÷2 punti percentuali di rendimento. Potenza e rendimento della turbina a gas degradano nel tempo per effetto di sporcamenti, usure di palette e aumento dei giochi nelle tenute interstadio. Le perdite di prestazioni nelle prime 24000 ore vengono stimate in valori del 2÷6% [2], solo parzialmente recuperabili con le manutenzioni.

La vita utile di impianti con turbina a gas viene convenzionalmente fatta pari a 20 anni [12]; in letteratura si trovano indicazioni di vita utile di 25 anni ([13][14]). In realtà la vita delle turbine a gas viene misurata in ore equivalenti di esercizio (EOH, Equivalent Operating Hours), che dipendono fortemente da numero ed entità dei transitori termici di avviamenti, arresti e variazioni di carico. Siemens [15] dichiara che le parti calde delle turbine a gas, le più sensibili a degrado e guasto, sono progettate per 100000 EOH, equivalenti a 12 anni di esercizio al carico di base o a 3000 avviamenti; con opportune ispezioni e manutenzioni tali valori possono essere raddoppiati fino a raggiungere i 30 anni di esercizio. In relazione alla disponibilità delle turbine a gas operanti in ciclo semplice, viene indicato in letteratura un valore non inferiore al 95% [10].

PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Stante la maturità della tecnologia, il concetto di payback tecnologico è scarsamente applicabile. La tecnologia è in continua evoluzione, anche se ormai prossima alla stabilità, e le innovazioni vengono continuamente sviluppate e introdotte sul mercato. Il payback di investimento è inaccettabile, nel mercato italiano, se riferito al mercato dell'energia, mentre potrebbe divenire interessante per i servizi ancillari, ma allo stato è di difficile valutazione in ragione del quadro regolatorio in evoluzione (introduzione del capacity payment, riforma del Mercato dei Servizi di Dispacciamento).

PRINCIPALI OSTACOLI ALLO SVILUPPO

Le turbine a gas sono complessi componenti di impianto ad alta velocità, operanti a temperature molto elevate e con tolleranze dimensionali strette. Sono soggette a una serie di problemi che includono scorrimento a caldo ("creep"), fatica, erosione e ossidazione, con potenziali danni da impatto delle parti mobili su quelle fisse. Il creep può portare a cedimenti strutturali, ma la maggiore preoccupazione è legata alle variazioni dimensionali che esso produce in componenti soggetti a frequenti e considerevoli variazioni di carico e temperatura. I fenomeni di fatica interessano in particolare le zone di concentrazione degli sforzi, come le radici delle pale della turbina [16].

MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

Utilizzo della tecnologia

Nel settore della generazione di energia elettrica il numero e la potenzialità degli impianti con turbina a gas in ciclo semplice si sono progressivamente ridotti nel corso degli ultimi 15 anni. Impianti di taglia medio-piccola sono utilizzati nell'industria in configurazione CHP, talvolta a servizio di piccoli circuiti di cogenerazione/tele-riscaldamento.

Sviluppo della tecnologia

Ansaldo Energia ha recentemente ottenuto un finanziamento per azioni di ricerca e sviluppo del valore di 50 milioni di euro dalla BEI, per un periodo di sette anni, che consentirà di sostenere progetti volti al perfezionamento delle tecnologie esistenti nei componenti per Turbine a Gas, Turbine a Vapore e Alternatori. Per le Turbine a gas i progetti sono destinati all'ampliamento della gamma dei combustibili utilizzabili e al consolidamento e allo sviluppo di tecnologie e soluzioni innovative nel campo dei materiali, dei processi speciali delle parti calde, della combustione, del contenimento delle emissioni e dello scambio termico [19].

ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

Ansaldo Energia, Nuovo Pignone.

BEST PRACTICES

La turbina a gas di più elevata potenza oggi disponibile è la M701J di Mitsubishi, con le seguenti prestazioni in ciclo semplice: potenza 470 MWe, efficienza 41% LHV [17].

Il costruttore italiano Ansaldo Energia costruisce la turbina AE94.3° con una potenza in ciclo semplice di 310 MWe, efficienza del 39.8 % e interessanti prestazioni dinamiche: tempo di avviamento fino al massimo carico 25 minuti, minimo tecnico del 43%. [18].

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] "The Gas Turbine Handbook", DOE/NETL, 2006
- [2] Gas Turbine World, "2012 Performance Specs-28th Edition", January-February 2012, Volume 42 No.1
- [3] E.Macchi, "Quale futuro per la cogenerazione industriale in Italia?", Dip. di Energia - Politecnico di Milano, Quarta giornata sull'efficienza energetica nelle industrie, Fast, Milano, 24 Nov. 2009
- [4] "Dati statistici sull'energia elettrica in Italia 2014", Terna, 2015
- [5] GSE, "Valutazione del potenziale nazionale di applicazione della cogenerazione ad alto rendimento e del teleriscaldamento efficiente", Dicembre 2015
- [6] <http://globalenergyobservatory.org/>
- [7] <http://www.industcards.com>
- [8] "Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants", EIA-U.S. Energy Information Administration, April 2013
- [9] "Cost and Performance Data for Power Generation Technologies", Black & Veatch, Prepared for the National Renewable Energy Laboratory, February 2012
- [10] "Technology Characterization: Gas Turbines", Energy and Environmental Analysis (an ICF International Company), Prepared for: EPA - Environmental Protection Agency, December 2008
- [11] "Gas-Fired Power", IEA ETSAP, Technology Brief E02, April 2010
- [12] RSE view-Energia elettrica, anatomia dei costi -Ed. Alkes-2014
- [13] M.P.Boyce, "Gas Turbine Engineering Handbook", Elsevier, 23 nov 2011
- [14] <https://twugbcn.files.wordpress.com/2011/06/peaker-case-histories.pdf>
- [15] G.Lipiah et alii, "Lifetime Extension for SIEMENS Gas Turbines", Power-Gen Europe 2006, 30 May+1 June 2006, Cologne, Germany
- [16] <http://www.ipieca.org/energyefficiency/solutions/77801>
- [17] https://www.mhi-global.com/products/detail/j_series_gas_turbine.html
- [18] Pubblicazione Ansaldo Energia "Power Generation News", n. 2, ottobre 2015