

## PRESTAZIONI DELLE TURBINE A GAS

### 3.1 Analisi completa del ciclo reale

Il calcolo completo di un ciclo di turbina a gas consiste nella stima della potenza, del rendimento e delle caratteristiche termodinamiche dei punti del ciclo, tali da poter stendere le specifiche di progetto dei componenti e di altre apparecchiature che dovranno interagire con la macchina. Nonostante la semplicità intrinseca delle turbine a gas e il limitatissimo numero di componenti, il calcolo del ciclo reale è operazione di una certa complessità e delicatezza, in quanto:

- i risultati sono strettamente dipendenti dalle assunzioni operate riguardo le prestazioni dei componenti: per ottenere risultati realistici è assolutamente necessario fare assunzioni precise circa i parametri che definiscono tali prestazioni (l'esempio più lampante, già discusso al Cap.1, sono i rendimenti di turbina e compressore);
- il calcolo è proceduralmente complicato dall'espansione raffreddata nella turbina, che va ricostruita in modo non banale.

Riguardo quest'ultimo punto, non affronteremo la complessità del problema, ma esporremo dei risultati ottenuti con una metodologia adeguata, evidenziando alcuni parametri fisici che governano il fenomeno, con lo scopo di fornire gli elementi di base del problema. Alla luce di quanto esposto nel Cap.2.3, un calcolo del raffreddamento deve prevedere i seguenti punti:

- conoscenza della geometria di base della parte raffreddata della turbina, in modo da stabilire le superfici da raffreddare;
- determinazione della temperatura sopportabile dal materiale delle palette;
- calcolo del flusso termico necessario ad assicurare tale temperatura;
- calcolo dell'efficacia del raffreddamento, in funzione del coefficiente di scambio aria-pala e della geometria dei canali;
- calcolo della portata di refrigerante necessaria;
- calcolo della pressione a cui prelevare tale refrigerante, che deve essere superiore a quella nel punto di eiezione dalla pala per vincere le perdite di carico nei condotti di adduzione, per creare la quota cinetica necessaria al flusso eiettato e, in una pala rotorica, per accelerare il flusso alla velocità periferica del punto di eiezione;
- calcolo delle proprietà termodinamiche del flusso risultante dal miscelamento del flusso principale di gas con il flusso di raffreddante, tenendo conto dell'energia necessaria a portare il flusso miscelato a velocità uniforme.

Questo tipo di calcolo va ripetuto in un numero opportuno di punti in cui il refrigerante è iniettato, quindi almeno per ogni schiera raffreddata. La soluzione si presta ovviamente a procedure computerizzate, utilizzate per elaborare i risultati numerici esposti in questo libro.

Circa le assunzioni necessarie per il calcolo di un ciclo reale aperto di turbina a gas, occorre quantificare le cause di scostamento rispetto a un ciclo ideale, già illustrate in 1.3. La tabella 3.1 contiene un elenco di tali assunzioni, con una serie di valori che, a giudizio dell'autore, rappresentano adeguatamente gli standard riscontrabili nelle più avanzate unità industriali di grande potenza. Tali valori sono quindi adatti a riprodurre le prestazioni di macchine che rappresentano ad oggi (2015) la miglior tecnologia disponibile (BAT: Best Available Technology), intesa come quella più avanzata pur restando tra le soluzioni collaudate e disponibili nel mercato. Si tratta delle turbine della classe "H" o "J", di cui l'unità sotto rappresentata (fig.3.1) è un esempio importante (GE 9HA.01). Pur non essendo apparentemente molto diversa da quella (dello stesso costruttore) rappresentata in fig.2.1, né come struttura né come dimensioni, tra le due vi sono venticinque anni di evoluzione, che possono essere riassunti in due numeri: potenza da 220 a 400 MWe, rendimento dal 35.5 al 41.5%.

Nella tab.3.1 un dato di particolare importanza è ovviamente la TIT: il valore indicato di 1500°C rappresenta ad oggi (2015) il livello più elevato conseguibile con le migliori tecnologie di raffreddamento delle pale. Naturalmente esistono sul mercato validissime unità con caratteristiche meno spinte: per le macchine industriali di potenza elevata sono oggi da ritenersi assolutamente attuali macchine con TIT dell'ordine dei 1350°C, mentre per le turbine di derivazione aeronautica e unità di media potenza le TIT sono vicine ai 1250-1280°C. Sono comunque presenti sul mercato modelli ancora validi che operano con TIT decisamente inferiori (1100-1200°C).

Nel calcolo di una turbina a gas andranno aggiunti altri due dati: (i) la portata d'aria, che definisce la dimensione e la potenza della macchina, (ii) il rapporto di compressione  $\beta$ , che è una vera e propria variabile da ottimizzare, da cui dipendono non solo le prestazioni ma anche la configurazione stessa della macchina, che quindi useremo come parametro principale nella discussione.

## 1.1 Lo schema generale del rilevamento topografico

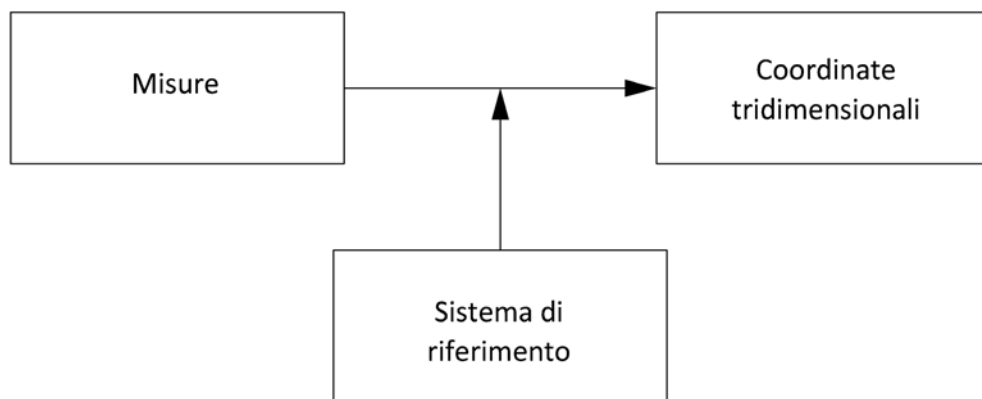
La **topografia** si pone come fine quello di descrivere, in modo **quantitativo**, la realtà che ci circonda.

Le tecniche utilizzate in topografia devono dunque permettere di ricavare **informazioni metriche** per la descrizione del territorio, del costruito e di quant'altro debba essere rilevato.

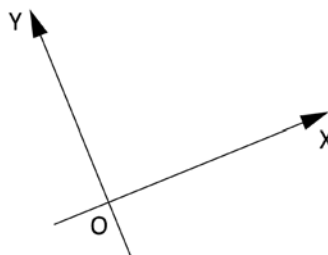
Solitamente, questo rilevamento metrico viene realizzato con tecniche che consentono di definire le **coordinate tridimensionali** degli oggetti considerati.

Dunque, è necessario definire tecniche di misura che consentano di ricavare le coordinate dei punti rilevati in un dato (e opportuno) sistema di riferimento.

Lo schema generale del rilevamento topografico può quindi essere riassunto come segue:



*Fig.1.1 Schema del rilevamento topografico*



*Fig. 1.2 Sistema di riferimento cartesiano ortogonale*

Si tratta perciò di definire un apposito **sistema di riferimento** rispetto al quale calcolare le **coordinate tridimensionali** dei punti sulla base di adeguate misure. I tre elementi dello schema devono essere congruamente definiti affinché si possa procedere senza intoppi.

È opportuno inoltre precisare le **differenze** tra *sistema di riferimento* e *coordinate*. Per fissare un sistema di riferimento si devono **definire regole e assunzioni** utili alla sua definizione. Una volta fissato il sistema di riferimento, si possono utilizzare, in quel dato sistema, *diversi tipi di coordinate*.

Per esemplificare queste affermazioni, ci si può riferire al caso del piano. Per determinare le coordinate

bidimensionali dei punti nel piano possiamo definire un sistema di riferimento cartesiano ortogonale. Per fissarne uno, occorre fissare l'origine in un punto e definire la direzione di uno degli assi, per esempio l'asse  $x$  (l'asse  $y$  viene determinato conseguentemente imponendo il suo passaggio per l'origine e la sua perpendicolarità con l'asse  $x$ ).

In questo caso, le regole e le assunzioni utili alla sua definizione sono la scelta di un punto del piano come origine e la direzione dell'asse  $x$ . Fatto ciò, è possibile definire le coordinate  $(x, y)$  dei punti del piano proiettando ortogonalmente la posizione dei punti sui due assi coordinati e misurando la distanza delle proiezioni dall'origine (ciò implica anche la scelta di un'unità di misura che rientra nelle convenzioni che definiscono il sistema di riferimento).

Queste però *non sono le sole coordinate* che possiamo scegliere nel piano. Infatti, è anche possibile dare le **coordinate polari** di un punto, che sono sempre relative al sistema di riferimento che abbiamo fissato in  $O$  con una data direzione dell'asse  $x$ . Di conseguenza si dirà che, nel sistema di riferimento così fissato, si possono derivare coordinate  $(x, y)$  o  $(\rho, \theta)$ . La trasformazione di coordinate, in un dato sistema di riferimento, è espressa da *formule analitiche completamente determinate*.