

Il fenomeno del pompaggio

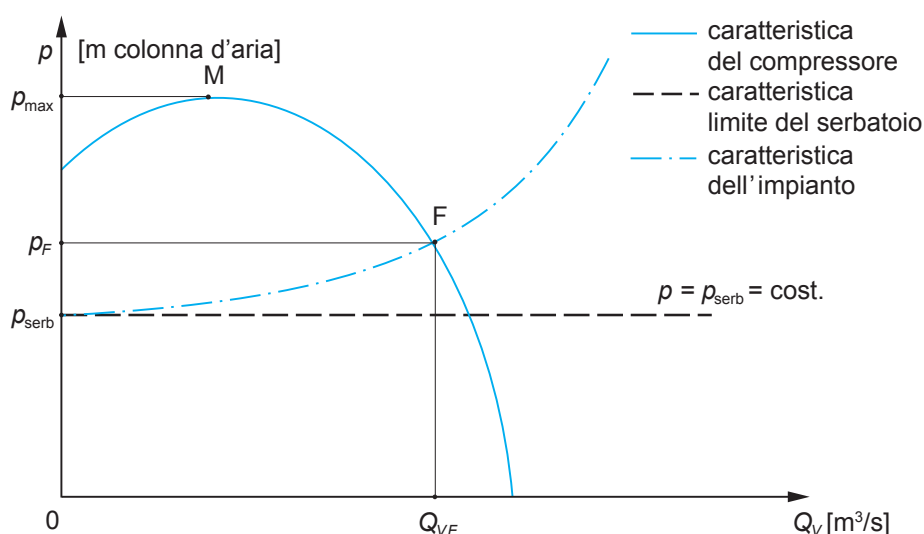
Premessa

In **Figura 1** sono rappresentate, nel piano (p, Q_V) , la curva caratteristica di un compressore dinamico (linea *continua*) e la curva caratteristica dell'impianto nel quale è inserita la macchina (linea *tratto e punto*). Per quanto riguarda le ordinate:

- quelle della caratteristica del compressore rappresentano la pressione p_{comp} fornita al fluido dal compressore;
- quelle della caratteristica dell'impianto sono la somma:
 - della pressione p_{serb} richiesta da un eventuale serbatoio di accumulo posto sul condotto di mandata e
 - delle perdite di pressione $\Delta p_{\text{condotti}}$ dovute alle resistenze incontrate dal fluido lungo i condotti.

Figura 1

Curve caratteristiche, nel piano (p, Q_V) , di un compressore dinamico e dell'impianto nel quale è inserita la macchina.



Il sistema è in equilibrio se risulta:

$$p_{\text{comp}} = p_{\text{serb}} + \Delta p_{\text{condotti}}$$

La pressione nel serbatoio non varia al variare della portata: quindi la caratteristica del serbatoio è rappresentata da una retta orizzontale di equazione:

$$p = p_{\text{serb}} = \text{cost.}$$

Le perdite di pressione del gas lungo i condotti variano con il quadrato della portata: pertanto la caratteristica dei condotti è rappresentata da una parabola avente equazione del tipo:

$$p = k \cdot Q_V^2$$

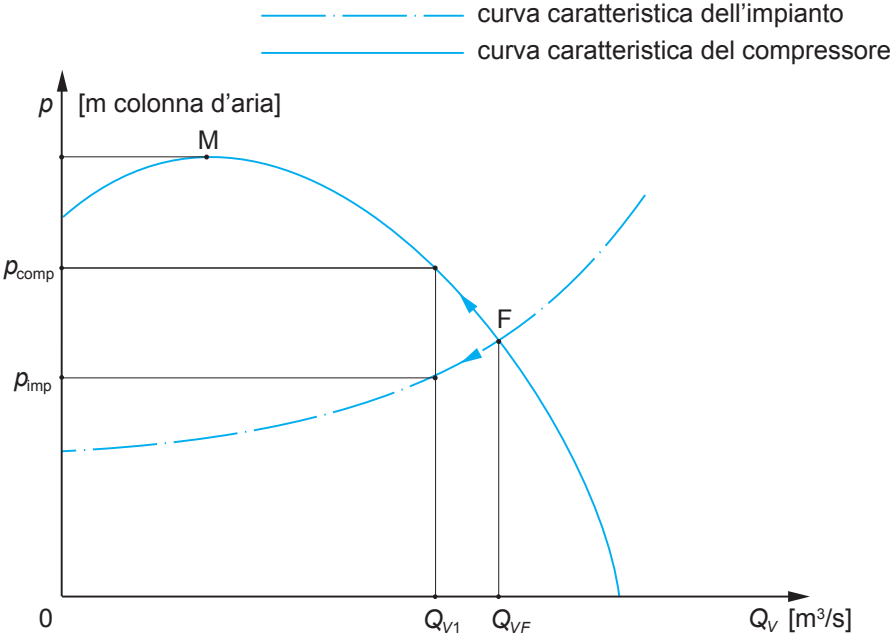
vertice sull'origine degli assi e concavità rivolta verso l'alto. La caratteristica del sistema è perciò rappresentata dalla parabola precedente il cui vertice è traslato sull'asse delle ordinate della quantità p_{serb} (curva con linea *tratto e punto*). Il punto F (*punto di funzionamento*), intersezione delle due curve caratteristiche, quella della macchina e quella dell'impianto, definisce i valori di pressione p_F e portata Q_{VF} che si realizzano nelle condizioni normali di funzionamento del compressore.

In base alle ipotesi fatte in sede di progettazione, il compressore deve gestire una portata pari a quella che si ha nelle condizioni di rendimento massimo. Pertanto Q_{VF} è da intendersi come portata di rendimento massimo.

Funzionamenti stabile e instabile

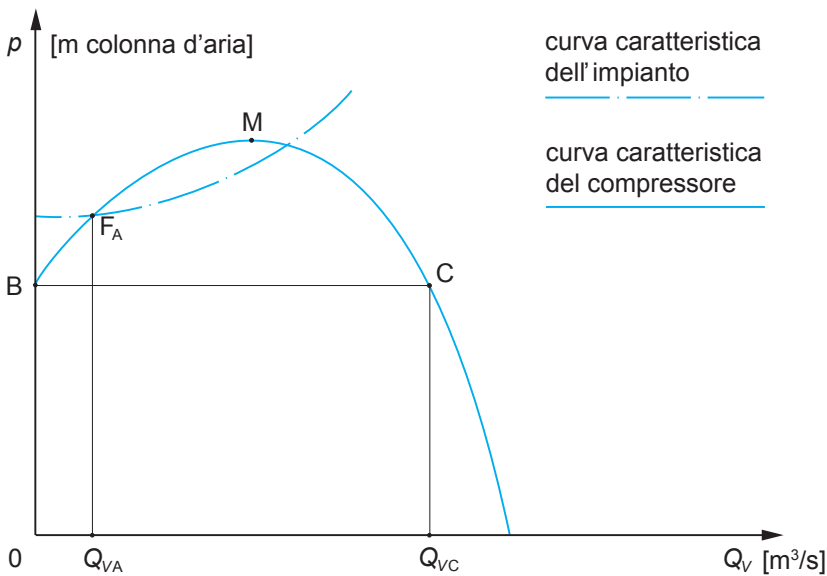
Se la caratteristica dell’impianto interseca quella della macchina in un punto come F situato sul tratto discendente della caratteristica del compressore, la macchina ha un funzionamento *stabile*. Questo significa che se la portata a un certo momento, ad esempio, diminuisce, essa viene riportata automaticamente al valore iniziale dallo stesso compressore. Infatti (Figura 2) dal momento che per $Q_{V1} < Q_{VF}$ la pressione fornita dal compressore p_{comp} risulta maggiore della pressione p_{imp} richiesta dall’impianto, la velocità del gas può aumentare e di conseguenza aumenta anche la portata in volume, fino a raggiungendo nuovamente il valore iniziale Q_{VF} di equilibrio stabile.

Figura 2
Funzionamento *stabile*
di un compressore
dinamico.



Consideriamo ora una curva caratteristica dell’impianto come quella tracciata con linea *tratto e punto* in Figura 3.

Figura 3
Funzionamento *instabile*
di un compressore
dinamico.



Indichiamo con F_A il nuovo punto di funzionamento, intersezione dell’attuale curva caratteristica della macchina con quella dell’impianto. Il punto F_A è posto stavolta sul tratto ascendente della caratteristica del compressore. Questo pun-

to rappresenta una condizione di funzionamento *instabile* e anche molto pericolosa. Infatti, se accidentalmente viene ridotta la portata, già di per sé assai scarsa, della macchina, la pressione fornita dal compressore p_{comp} diventa minore della pressione p_{imp} richiesta dall'impianto (Figura 4, dove per: $Q_{V1} < Q_{VA}$ è $p_{\text{comp}} < p_{\text{imp}}$).

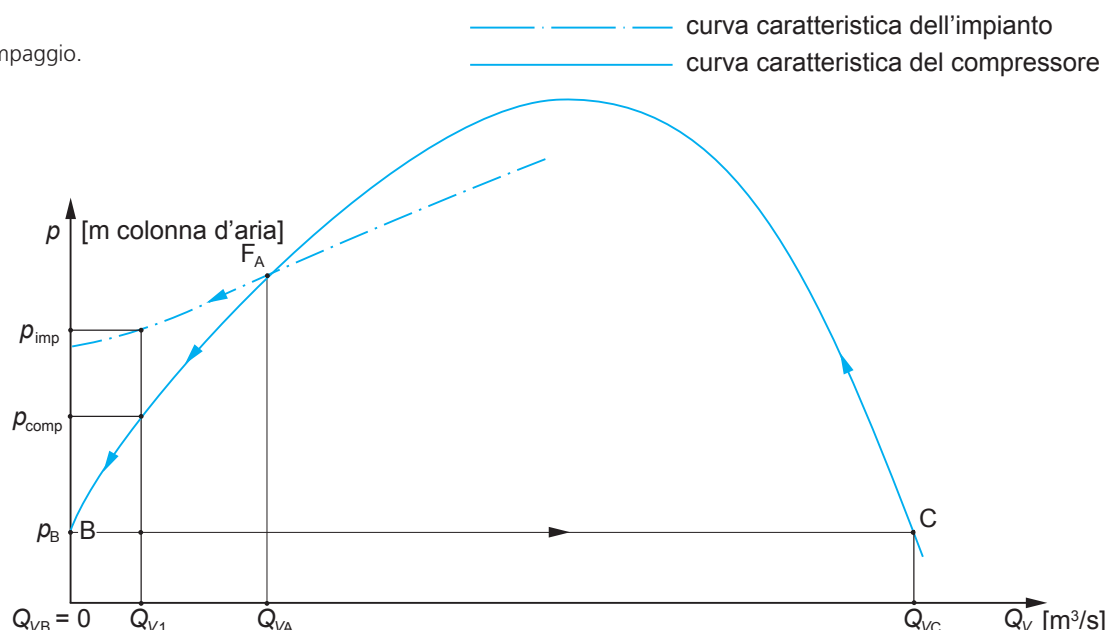
A questo punto il compressore non è più in grado di far affluire il gas nel condotto di mandata.

Questo significa che la portata di fluido in uscita dalla macchina scende a zero. A portata nulla, il compressore può fornire la pressione p_B , ovvero: per $Q_V = 0$ è $p = p_B$.

Il gas che si trova nel condotto di mandata a una pressione superiore alla pressione p_B , ora non è più contrastato da alcuna portata di fluido proveniente dal compressore. Infatti, come s'è detto, Q_V è uguale a zero. Inverte allora il suo flusso e rifluisce verso l'aspirazione della macchina. La sua pressione inizia a diminuire e si avvicina sempre più al valore p_B .

Figura 4

Fenomeno del pompaggio.



Quando la pressione nel condotto di mandata raggiunge il valore p_B , il compressore ricomincia a funzionare regolarmente; alimenta allora questo condotto, alla pressione $p = p_B = \text{cost.}$, con una portata che cresce progressivamente dal valore zero (in B) al valore Q_{VC} (in C).

La portata, che ora è eccessiva, si riversa nel condotto di mandata, ne aumenta la pressione e riporta il compressore a funzionare nel punto F_A. Se le condizioni che hanno innescato l'inversione del fluido di gas si ripresentano, tale fenomeno noto con il nome di *pompaggio* tende a ripetersi. Esso genera oscillazioni della colonna di gas che provocano sugli organi del compressore sollecitazioni così violente da comprometterne la resistenza meccanica.

Per evitare il verificarsi di condizioni che favoriscono l'insorgere del fenomeno del pompaggio, è preferibile utilizzare compressori con palettatura rivolta all'indietro rispetto al senso di rotazione della girante; queste macchine infatti presentano nel piano (p, Q_V) una curva caratteristica rapidamente decrescente e quindi un funzionamento stabile per un'ampia gamma di portate.

Inoltre il punto di funzionamento F deve essere il più lontano possibile dal punto M relativo alla p_{max} (Figura 1). Con questo accorgimento si mette infatti a disposizione del compressore una zona di autoregolazione molto ampia.

Queste precauzioni sono normalmente evidenziate nel tracciamento, nel piano (p, Q_V) , delle curve caratteristiche dei compressori: infatti, sulla parte sinistra di tali diagrammi (Figura 5) è frequentemente riportata una linea (*curva limite del pompaggio*) che interrompe le curve caratteristiche, rilevate alle diverse velocità di rotazione della macchina, immediatamente prima del punto di massimo; se la portata scende al di sotto dei valori corrispondenti a questa linea, il funzionamento del compressore non è più stabile e si possono verificare le condizioni che danno origine al fenomeno del pompaggio.

Figura 5
Curve caratteristiche di un compressore dinamico al variare della velocità di rotazione n .

