

# Gen-set: condizioni d'impiego e prestazioni

Quali i parametri da considerare nella scelta ottimale di un gruppo elettrogeno

Franco Giuseppe Valenti

I gruppi elettrogeni possono essere utilizzati per due tipi di servizi principali:

- gruppi elettrogeni per **servizio continuo**: sono impiegati per la produzione d'energia elettrica dove non esiste la rete pubblica di distribuzione o dove l'utente ha deciso di produrre direttamente l'energia elettrica necessaria per le proprie esigenze, sfruttando anche il calore ceduto dalla centrale elettrica;

- gruppi elettrogeni per **servizio d'emergenza**: impiegati per sopperire alle interruzioni casuali d'energia elettrica che si possono verificare nelle reti di distribuzione, quando la suddetta interruzione può provocare gravi disagi alle persone oppure danni materiali o finanziari (ospedali, impianti industriali a ciclo continuo, ecc.).

Fra i gruppi elettrogeni impiegati per l'autoproduzione, assumono particolare interesse i gruppi elettrogeni di cogenerazione, per i quali il costo del kWh prodotto diventa molto interessante, rispetto a quello d'acquisto presso la rete elettrica commerciale.

Questa tipologia di macchine è dotata di dispositivi supplementari, che consentono d'utilizzare anche l'energia termica prodotta dal gruppo elettrogeno.



Gruppi elettrogeni insonorizzati dell'Ausonia S.r.l.

## ► Prestazioni

### Potenza nominale

Una grandezza importante del gruppo elettrogeno è la potenza nominale (Rated Power): è espressa in kVA ed il relativo valore numerico, riportato sulla targa, rappresenta il valore massimo di potenza che la macchina può erogare alle condizioni ambientali di riferimento.

È importante tenere presente che il valore di potenza riportato è quello definito come PRP (Prime Power) dalla norma ISO 8528. Semplificando la definizione data dalla suddetta norma, la PRP è **la massima potenza che il gruppo elettrogeno può fornire durante un ciclo di lavoro a potenza variabile.**

Normalmente il gruppo elettrogeno può essere sovraccaricato di circa il 10% rispetto al suddetto limite di potenza, per un periodo di tempo limitato, non superiore a 500 ore annue, con un massimo di 300 ore continuative.

Tale limite di potenza viene definito LTP (Limited Time running Power) ed è regolamentato sempre dalla norma ISO 8528.

Quanto sopra vale per i gruppi elettrogeni impiegati a svolgere un servizio d'emergenza.

La norma prevede un'ulteriore definizione di potenza, identificata come COP (Continuous power). I gruppi elettrogeni per i quali l'utente prevede l'impiego in servizio continuo di produzione, devono essere dimensionati in accordo ai criteri di quest'ultima definizione.

Sulla targa d'identificazione del Gruppo Elettrogeno sono dichiarate anche le condizioni ambientali di riferimento, che sono quelle ideali per il buon funzionamento della macchina (figura 1). Ovviamente la macchina è idonea ad essere impiegata anche in condizioni ambientali diverse da quelle di riferimento.

L'utente deve comunque tenere conto che, in linea di massima, il

**Targa conforme alle disposizioni della normativa internazionale ISO 8528, in cui sono riportati i dati nominali e d'identificazione del gruppo elettrogeno**

Figura 1

**Tabella 1** Coefficienti di declassamento dell'alternatore

Declassamento per temperatura:	
Fino a 40°C:	nessun declassamento
45°C	0,97
50°C	0,94
55°C	0,91
60°C	0,88
Declassamento per altitudine:	
Fino 1.000 m	nessun declassamento;
1.500 m	0,97
2.000 m	0,94
2.500 m	0,91
3.000 m	0,88
3.500 m	0,85
4.000 m	0,82

gruppo non ha problemi di prestazioni quando la temperatura d'impiego è più bassa di quella di riferimento, fino al limite di  $-10^{\circ}\div-15^{\circ}\text{C}$ , sempre che siano stati previsti i dispositivi necessari per consentire l'avviamento alle basse temperature.

In caso d'impiego a temperature ancora più basse, si possono manifestare serie difficoltà di funzionamento, specialmente durante la fase d'avviamento. Tali problemi possono essere accentuati anche dalle alterazioni chimiche che può subire il gasolio alle basse temperature (formazione di paraffina).

Problemi di altra natura sorgono

quando la macchina viene utilizzata in ambienti dove i valori di temperatura, altitudine ed umidità relativa sono più alti rispetto a quelli di riferimento.

In linea di massima, la presenza delle suddette condizioni ambientali comporta un declassamento della massima potenza erogabile dalla macchina, tanto più accentuato, quanto più i valori si scostano da quelli di riferimento.

### Criteri di declassamento

A carattere puramente indicativo, vengono esposti alcuni criteri in funzione dei quali sono considerati i coef-

ficienti di declassamento del motore diesel e dell'alternatore.

### Declassamento motore diesel

Pressione, temperatura ed umidità dell'aria aspirata dal motore, diverse da quelle di riferimento, rivestono un ruolo importante nella capacità d'erogazione di potenza, specialmente quando le variazioni sono di sensibile entità, rispetto ai valori di riferimento nominali, e persistono nel tempo.

L'aumento di temperatura comporta una diminuzione della densità dell'aria. Pertanto, a parità di cilindrata, quindi di volume d'aria utilizzata come comburente, si ha una riduzione di peso proporzionale all'aumento di temperatura.

Questo fenomeno comporta un'alterazione della miscela di combustione (combustibile/comburente), con conseguente penalizzazione della potenza erogabile.

L'elevato valore di temperatura dell'aria comporta anche un'alterazione del sistema di raffreddamento, il quale può andare in crisi, forzando il motore in sovratemperatura.

Quando si verificano condizioni ambientali di questo tipo, al motore viene applicato un coefficiente di penalizzazione della potenza erogabile (derating), la cui entità varia in funzione della tipologia dei motori.

Anche l'altitudine a cui funziona la macchina influisce sulla potenza erogabile.

Nei diesel con aspirazione naturale, la riduzione di potenza per altitudine è più significativa rispetto a quella per effetto dell'aumento di temperatura. Viceversa per i diesel sovralimentati.

### Declassamento dell'alternatore

Anche la macchina elettrica subisce un declassamento in funzione dell'altitudine e della temperatura ambiente di funzionamento.

Tale declassamento è dovuto esclusivamente al fatto che aumento di altitudine e di temperatura ambiente penalizzano il sistema di raffreddamento di cui è dotata la macchina.

Orientativamente vengono applicati i coefficienti di declassamento riportati in tabella 1. ➔

### Altre grandezze nominali

Fra i dati di targa, particolare importanza assumono la tensione nominale e la frequenza nominale.

Queste grandezze, ovviamente, devono essere corrispondenti a quelle della rete elettrica sulla quale il gruppo elettrogeno deve essere inserito.

L'utente è tenuto a verificare tali requisiti, in quanto valori diversi di tensione e frequenza possono provocare danni considerevoli.

### Frequenza

La frequenza del gruppo elettrogeno è strettamente legata al numero di giri del motore diesel, per cui la precisione della frequenza della tensione generata dipende esclusivamente dalla bontà del regolatore automatico di giri del motore diesel, che può essere di tipo meccanico od elettronico.

I motori più moderni sono dotati, addirittura, di sistema d'iniezione governato da centralina elettronica.

I regolatori meccanici di giri garantiscono la variazione dei giri del motore in funzione del carico entro determinate tolleranze. Questa fascia di regolazione viene definita **statismo di frequenza**, grandezza che è riferita al gruppo elettrogeno funzionante con carico stabilizzato.

Un'altra caratteristica importante, che definisce la bontà del regolatore di giri, è la **regolazione**, ovvero la capacità che ha di mantenere costante il numero di giri nelle condizioni di carico stabilizzate.

A titolo d'esempio, possono essere ritenuti soddisfacenti valori di regolazione intorno a  $\pm 0,25\%$ .

Infine, bisogna considerare anche la variazione transitoria di frequenza generata in fase d'applicazione o sgancio di una certa quantità di carico in unico gradino.

L'entità di tale variazione dipende dalla bontà del regolatore di giri del motore diesel, ma può essere influenzata da ulteriori molteplici fattori di natura meccanica, legati alle caratteristiche del motore ed alle inerzie del complesso motore/alternatore.

In genere, un regolatore di giri mec-

canico garantisce prestazioni inferiori rispetto ad uno di tipo elettronico.

Sempre a titolo d'esempio, ricordiamo i criteri della norma ISO 3046/IV, la quale, per la migliore classe di regolazione (A1), prescrive che lo statismo deve essere contenuto entro il  $\pm 2\%$ .

In valore assoluto ciò equivale a dire che il valore della frequenza a vuoto è di 51 Hz, mentre quello a pieno carico è di 49 Hz.

Tale precisione viene garantita da tutti i gruppi elettrogeni dotati di regolatore di giri meccanico, ma è di gran lunga migliore nei gruppi elettrogeni dotati di regolatore elettronico di giri, il cui statismo può assumere anche valore zero.

In questo caso, il tipo di regolazione viene definito **isocrono**.

Per quanto riguarda la variazione transitoria durante l'applicazione o lo sgancio dei gradini di carico, il regolatore di giri, anche in questo caso, svolge un ruolo importante e le prestazioni migliori sono quelle fornite dai regolatori elettronici.

Va comunque detto che la caduta dei giri transitoria dipende anche dalla porzione di carico che entra in gioco rispetto alla potenza nominale del gruppo elettrogeno.

In linea di massima, un gruppo elettrogeno con motore diesel sovralimentato, non può in nessun caso sostenere l'applicazione in un solo gradino di tutto il carico nominale.

Tale condizione, quando si verifica, provoca sicuramente l'arresto della macchina per bassi giri.

Il problema, invece, non sussiste se il gruppo elettrogeno è dotato di motore diesel ad aspirazione aria naturale.

### Tensione

La stessa tipologia di fenomeni che si verifica per la frequenza, si riscontra anche sulla tensione.

La precisione sulla regolazione della tensione è caratterizzata da tre grandezze: lo statismo, la variazione di tensione in fase transitoria e la precisione sulla regolazione.

Lo statismo di tensione è praticamente di valore prossimo allo zero per

i gruppi elettrogeni che vengono impiegati in singolo, mentre, in genere, è fissato intorno al 4% per i gruppi che sono destinati a lavorare in parallelo. La precisione sulla regolazione della tensione è  $\pm 1,5\%$ .

L'entità del valore percentuale di variazione di tensione transitoria, dipende da molteplici fattori. Un parametro molto importante, che influisce negativamente, è la variazione di giri del motore diesel, sia sotto, sia sopra il valore nominale.

Un altro elemento rilevante, che influisce sulla variazione transitoria della tensione, è lo spunto di potenza, caratterizzato dall'avviamento di motori asincroni a rotore bloccato. Cadute di tensione transitorie dell'ordine del  $15\% \div 18\%$ , con rientro nei valori nominali entro 2", possono essere considerate normali e accettabili.

### Fattore di potenza

La potenza del gruppo elettrogeno è espressa in kVA. La potenza in kVA (potenza apparente) è costituita da una componente di potenza attiva e da una componente di potenza reattiva, fra loro vettorialmente legate tramite il  $\cos \phi$  (fattore di potenza), il cui valore, per convenzione, è pari a 0,8.

In altri termini, un gruppo elettrogeno la cui potenza nominale è pari a 100 kVA, è costituito da un motore primo in grado di fornire 80 kW e da un alternatore in grado di erogare la suddetta potenza attiva, con una componente reattiva pari a 60 kVAR, di origine sia induttiva, sia capacitiva.

Un carico elettrico avente un fattore di potenza prossimo a  $\cos \phi = 1$  genera un sovraccarico del motore, mentre un carico elettrico avente un fattore di potenza prossimo allo zero, sovraccarica il generatore.

Ciò equivale a dire che non è possibile poter alimentare un carico elettrico pari a 100 kVA a  $\cos \phi = 1$ , in quanto l'equivalente carico attivo è 100 kW, di gran lunga superiore alla potenza fornibile dal motore primo, che è di 80 kW.

Allo stesso modo, sussistono difficoltà per l'alternatore, quando si è nelle circostanze più sfavorevoli per que-

s'ultimo, cioè in presenza di un carico di 100 kVA a  $\cos \varphi = 0$ .

In pratica, ciò equivale ad alimentare un carico da 100 kVA = 100 kVAR >> 60 kVAR.

In tali condizioni, se il carico è di natura induttiva, provoca un sovraccarico non consentito del sistema d'eccitazione, mentre se il carico è di natura capacitiva, provoca una sovraccitazione non controllata della macchina, con conseguente forte innalzamento della tensione ai propri morsetti. Quest'ultima è una condizione pericolosissima, da evitare nel modo più assoluto, in quanto può provocare danni notevoli alle apparecchiature connesse sulla rete elettrica d'utilizzazione.

Questo fenomeno si verifica quando sulla rete elettrica sono inserite esclusivamente batterie di condensatori, in assenza di carichi resistivi. Un classico esempio è quello delle lampade a scarica, quando sono funzionanti e vengono spente e riaccese per mancanza di energia elettrica. La riaccensione delle stesse viene preceduta da un periodo naturale di raffreddamento, durante il quale manca la componente attiva, mentre predomina quella reattiva, generata dalla presenza dei condensatori di rifasamento.

Il sovraccarico reattivo è pericolosissimo e può provocare seri danni all'alternatore, prima ancora che possano intervenire le protezioni elettriche. L'alimentazione di carichi a basso  $\cos \varphi$  comporta solo un declassamento dell'alternatore e, quindi, del gruppo elettrogeno (tabella 2).

### Alimentazione di carichi monofase

I gruppi elettrogeni possono essere utilizzati per alimentare anche carichi squilibrati, fino a raggiungere, al massimo, la corrente nominale su ogni fase. Ciò significa che fra due fasi (per esempio fra la U e la V) non si può inserire più di:

$$\frac{\sqrt{3}}{3}$$

della potenza nominale trifase del gruppo elettrogeno, che corrisponde al

Tabella 2

Coefficienti di declassamento da applicare in funzione del  $\cos \varphi$

<b>cos <math>\varphi</math></b>	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0
<b>k</b>	1	1	0,93	0,88	0,84	0,82	0,8

58%; analogamente, fra una fase e il neutro (per esempio tra la W e il neutro), non si può inserire più di 1/3 (cioè il 33%) della potenza trifase di targa. Nel primo caso la tensione monofase corrisponde al valore di 400 V, mentre, nel secondo caso, corrisponde a 230 V. Bisogna tenere presente che il funzionamento monofase o con carichi squilibrati, talvolta, può degradare le prestazioni della macchina.

Si rende necessario, comunque, consultare il libretto uso e manutenzione dell'alternatore, per individuare, eventualmente, le fasi sulle quali è consentito prelevare il carico monofase.

### Dimensionamento del gruppo elettrogeno in funzione della natura del carico

La funzione primaria di un gruppo elettrogeno è quella di sopperire al fabbisogno di potenza richiesto da una rete di carichi elettrici.

In prima approssimazione si potrebbe essere tentati di scegliere la potenza nominale del gruppo elettrogeno pari alla sommatoria delle potenze dei carichi presenti nella rete elettrica, riservandosi magari una tolleranza del 10÷20% in più rispetto alle reali necessità. In pratica, effettuare il corretto dimensionamento del gruppo elettrogeno non è una cosa molto semplice e la valutazione implica l'introduzione di una serie di considerazioni, legate soprattutto alla natura del carico da alimentare.

Va tenuto presente, comunque, che un eccessivo dimensionamento comporta un maggiore impegno economico che non si traduce, in genere, con maggiori garanzie dal punto di vista funzionale e delle prestazioni della macchina.

Infatti, un gruppo elettrogeno di potenza esuberante, oltre a comporta-

re maggiori costi d'esercizio, implica anche difficoltà di carattere tecnico durante l'uso. In poche parole, il motore diesel, lavorando a potenza ridotta, non raggiunge i regimi termici nominali. Questa circostanza abbassa il rendimento del motore stesso, elevando i consumi specifici di combustibile e dà luogo a fenomeni di trafilamento d'olio, dovuti alla condensazione di quest'ultimo, che normalmente viene espulso allo stato gassoso.

Pertanto, a lungo andare, potrebbe essere necessario effettuare manutenzioni straordinarie, soprattutto per i motori sovralimentati, nei quali può essere richiesta la pulizia delle turbine del compressore.

È quindi essenziale analizzare la natura dei carichi da alimentare, il loro assorbimento di corrente, la variazione del fattore di potenza ( $\cos \varphi$ ), il grado di contemporaneità nel funzionamento, ecc. Alcuni tipi d'utenza, quali, ad esempio, quelle dove prevale la presenza di motori elettrici asincroni, sono tipiche poiché registrano un assorbimento d'energia elettrica molto elevato nella fase di prima alimentazione.

In questi casi può essere necessario limitare l'avviamento contemporaneo di tutti i motori elettrici, accertandosi che la potenza assorbita durante le fasi transitorie sia compatibile con quella applicabile al gruppo elettrogeno.

Altra considerazione da effettuare è quella che la sommatoria delle potenze di targa degli apparati utilizzatori, installati in un insediamento industriale o civile, è generalmente superiore alla potenza realmente assorbita, poiché non tutte le utenze lavorano nel medesimo tempo e nelle condizioni più gravose. Da ciò deriva la necessità di verificare il grado di contemporaneità e quello di funziona- ➔

mento con i valori di targa delle varie utenze di un impianto, per consentire la scelta della taglia del gruppo elettrogeno che possa soddisfare le reali esigenze.

Per le ragioni sopra esposte, può quindi succedere che il picco di carico richiesto dall'utenza sia superiore alla potenza disponibile ai morsetti del gruppo elettrogeno. Naturalmente, il sovraccarico si manifesta soprattutto se l'avviamento dei motori asincroni si verifica in concomitanza con il massimo assorbimento da parte delle altre utenze facenti parte della stessa rete elettrica. In questo caso, basta ritardare il picco di carico dovuto all'inserzione delle utenze normali rispetto al momento in cui avviene l'avviamento dei motori elettrici.

L'analisi del diagramma giornaliera, relativa alla sequenza d'inserzione dei carichi elettrici, può facilitare questa scelta.

### Stima della potenza per l'avviamento di un motore asincrono

Come accennato in precedenza, la potenza del gruppo elettrogeno è scelta in funzione della tipologia del carico da alimentare. Spesso si ricorre a gruppi elettrogeni speciali per sopprimere alla necessità di contenere le cadute di tensione, laddove il carico richiede potenze a bassi  $\cos \varphi$  o notevoli sovraccarichi temporanei, conseguenti a spunti generati dall'avviamento di motori elettrici.

A titolo d'esempio, si suppone di dover dimensionare un gruppo elettrogeno che deve azionare un motore asincrono avente le seguenti caratteristiche:

$$P_n = 100 \text{ kW (potenza nominale);}$$

$$\eta = 92 \% \text{ (rendimento);}$$

$$\cos \varphi_n = 0,9 \text{ (fattore di potenza nominale);}$$

$$\cos \varphi_{cc} = 0,4 \text{ (fattore di potenza in corto circuito);}$$

$$I_{cc} = 6,8 I_n \text{ (corrente di corto circuito);}$$

$$V_n = 400 \text{ V (tensione nominale).}$$

Dai dati di targa del motore si può notare che lo stesso, in corto circuito, assorbe una potenza apparente 6,8 volte la potenza nominale, in quanto la corrente all'avviamento  $I_{cc}$  è pari a  $6,8 I_n$ .

Per limitare la potenza allo spunto si decide di avviare il motore a tensione ridotta. Uno dei metodi più classici è l'avviatore stella/triangolo.

La potenza del gruppo elettrogeno sarà individuata in funzione dei calcoli che seguono.

Dalla potenza nominale  $P_n$  resa dal motore asincrono, tramite il rendimento, si risale alla potenza elettrica realmente assorbita dalla macchina:

$$P_e = P_n / \eta = 100 / 0,92 = 109 \text{ kW}$$

La potenza apparente in kVA risulta:

$$A = P_e / \cos \varphi_n = 109 / 0,9 \cong 121 \text{ kVA}$$

A questo punto si può ricavare la potenza assorbita allo spunto dal motore asincrono, supponendo d'effettuare un avviamento diretto:

$$A_s = 121 \times 6,8 \cong 830 \text{ kVA}$$

Avendo deciso di avviare il motore a tensione ridotta, con sistema stella/triangolo, ne deriva che limiteremo la potenza di spunto. Quest'ultima diminuisce, infatti, proporzionalmente con il rapporto:

$$\left( \frac{V_a}{V_n} \right)^2$$

Nel suddetto rapporto  $V_a$  è la tensione d'avviamento e  $V_n$  è la tensione nominale.

Poiché si suppone che:

$$V_a = 230 \text{ V e } V_n = 400 \text{ V,}$$

si ha:

$$(V_a / V_n)^2 = (230 / 400)^2 = 0,330$$

Quindi, la potenza richiesta allo spunto dal motore asincrono, alle condizioni sopraindicate, si riduce a:

$$A_s = 830 \times 0,330 \cong 280 \text{ kVA}$$

A questo punto è necessario verificare qual è la potenza attiva richiesta al gruppo elettrogeno, valida quindi per il corretto dimensionamento del motore diesel. Poiché il fattore di potenza

del motore asincrono, durante la fase d'avviamento ( $\cos \varphi_{cc}$ ), ha valore 0,4, ne consegue che la potenza attiva richiesta al diesel è pari a:

$$P = 280 \times 0,4 \cong 112 \text{ kW}$$

Ammesso di poter applicare al gruppo elettrogeno un gradino di carico pari al 100% del carico nominale, dovremo scegliere un gruppo elettrogeno la cui potenza nominale è di:

$$\text{kVA} = 112 \text{ kW} / 0,8 \cong 140 \text{ kVA}$$

È necessario ora verificare qual è l'andamento della tensione di un gruppo elettrogeno di questa taglia durante la fase transitoria, conseguente all'avviamento del motore asincrono in discussione. Supponendo che il motore conceda l'applicazione del 100% del carico in un solo gradino, si avrà una caduta di giri di almeno il 10%.

Alla macchina elettrica viene applicato un carico di 280 kVA, pari al doppio della potenza nominale.

Dal diagramma di figura 2 si rileva che quest'ultima subisce una caduta di tensione transitoria nominale di circa il 24%.

Su tale valore di caduta di tensione influisce negativamente anche la riduzione di giri del motore, che, con valutazione empirica, si può stimare in misura del 50% rispetto al valore effettivo della caduta di giri, quindi 5%.

I due valori sommati (29%) indicano, con buona approssimazione, la caduta di tensione che sarà presente nella rete elettrica durante la fase di avviamento del motore asincrono.

Nella maggior parte dei casi, tali variazioni di tensione non sono accettabili: pertanto, sarà necessario realizzare un gruppo elettrogeno speciale, dove la macchina elettrica è sovradimensionata rispetto al motore primo.

Nel caso particolare, l'alternatore dovrà avere una potenza maggiore, pari a 300 kVA, affinché la caduta di tensione venga contenuta entro il 20%.

### Alimentazione di carichi distorti

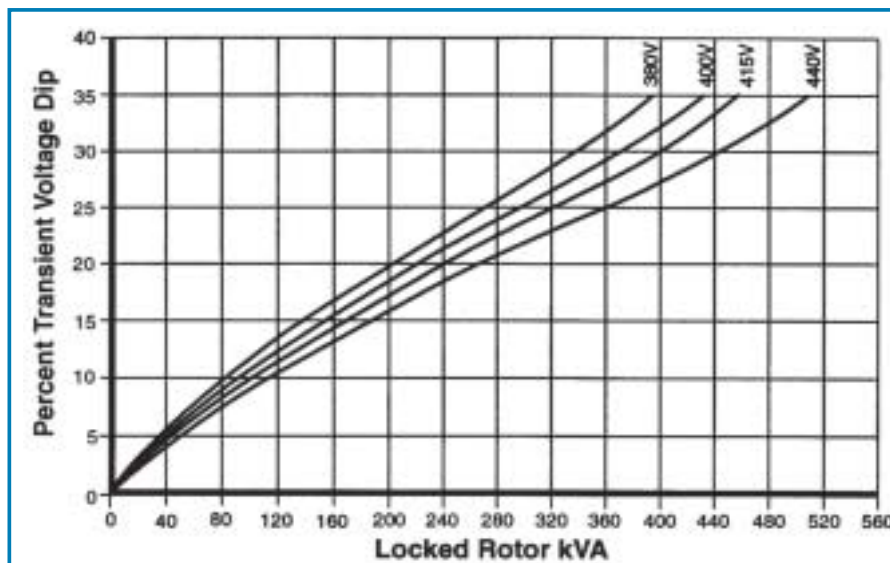
Un fenomeno importante quanto quello precedente, da tenere in buona con-

siderazione per il dimensionamento di un gruppo elettrogeno, è il livello di distorsione armonica introdotta dal carico d'utenza, ossia la capacità che ha quest'ultimo di sporcare e deformare la forma d'onda dell'alternatore.

La distorsione della forma d'onda, oltre a dare problemi di funzionamento alle altre tipologie di carico inserite sulla rete elettrica, può creare seri problemi di funzionamento al gruppo elettrogeno, in quanto induce a fenomeni non tollerabili di pendolamento della tensione e della frequenza.

Fra i carichi che per antonomasia sono considerati distorcenti, abbiamo: gruppi statici di continuità, dispositivi soft start, motori a corrente continua alimentati da dispositivi a diodi controllati, alimentatori switching, ecc.

In questi casi, il dimensionamento del gruppo elettrogeno può risultare



**Figura 2** Andamento caratteristico della caduta di tensione di un alternatore, conseguente all'avviamento di un motore asincrono con rotore bloccato

particolarmente complesso, in quanto è necessario tenere in considerazione diversi fattori influenzanti. È perciò opportuno rivolgersi direttamente ai tecnici del costruttore.



### AUTORI

**FRANCO GIUSEPPE VALENTI**  
Direttore tecnico Ausonia S.r.l.