

PROBLEMI TECNICI ED ECONOMICI NELL'UTILIZZAZIONE DEI GRUPPI DI CONTINUITÀ STATICI E ROTANTI IN AMBITO TERZIARIO E INDUSTRIALE (*)

M. DA ROS, G. C. FAVA, G. RIVOLI ()**

SOMMARIO

Nell'analisi di affidabilità di un impianto elettrico si incontrano casi in cui i valori di disponibilità delle sorgenti convenzionali non sono sufficienti: si ricorre pertanto all'introduzione di apparecchiature definite "gruppi elettrogeneratori" e "gruppi di continuità".

I gruppi di continuità, utilizzati quando le apparecchiature collegate non tollerano interruzioni anche di breve durata, erano costruiti, in origine, con macchine rotanti. L'introduzione dei tiristori, permise la costruzione di raddrizzatori ed invertitori statici, che, assieme agli accumulatori costituiscono i gruppi di continuità statici. Il progresso tecnologico dei semiconduttori, quali i transistori di potenza bipolari e ad effetto di campo, ha migliorato la qualità di queste macchine evidenziandone però i limiti impiantistici.

L'evoluzione delle macchine elettriche rotanti e l'introduzione sul mercato di alcune di esse particolarmente innovative, ha permesso la costruzione di gruppi di continuità rotanti con o senza batterie.

Nella memoria si analizzano le soluzioni attualmente possibili ed i problemi tecnici ed economici che la loro utilizzazione implica in impianti elettrici nuovi o già esistenti in ambito industriale e terziario

Conclude la memoria un esempio di applicazione pratica che permette di identificare le fasi salienti di un progetto.

(*) Memoria presentata al Convegno su "La qualità..."-Verona, 25-26 novembre 1993

(**) Maurizio Da Ros D.R.Tecnologie S.r.l. Limito (MI)
Gian Carlo Fava Studio ENCO S.r.l. Milano (MI)
Gianmarco Rivoli Studio ENCO S.r.l. Milano (MI)

1. INTRODUZIONE

La crescente richiesta di affidabilità dell'energia elettrica verificatasi negli anni recenti, soprattutto per alimentare apparati quali gli elaboratori elettronici ed i sistemi di automazione, ha evidenziato i problemi che può creare l'interruzione nella fornitura. Non sempre la responsabilità di queste interruzioni è da imputare all'ente fornitore. Alcune volte le cause vanno ricercate "in casa", e in molti casi non è possibile evitare la mancanza di alimentazione in senso assoluto. Non è nemmeno facile stabilire i valori di disponibilità delle sorgenti. Il progettista dovrebbe preoccuparsi dell'analisi del tipo di energia elettrica e del tipo di alimentazione che gli utilizzatori sono in grado di accettare.

Nel seguito vengono analizzati i diversi schemi di impianto che derivano dall'analisi delle necessità dell'utente e che si possono configurare per ottenere ridondanze ed i diversi tipi di gruppi di continuità che le tecnologie elettriche ed elettroniche mettono a disposizione. I problemi tecnici ed economici che si incontrano nel loro inserimento in impianti nuovi o già esistenti possono rendere vana l'applicazione, qualora la scelta non sia derivata da una conoscenza approfondita delle necessità primarie e dell'uso per cui tali sistemi sono applicati: in sostanza, è necessario integrare tra di loro le conoscenze e le competenze di tutti i settori coinvolti nella realizzazione dell'impianto elettrico per scegliere il tipo di gruppo di continuità più adatto.

In particolare vengono analizzati i sistemi di continuità statici e la famiglia di sistemi definita gruppi di continuità rotanti che deriva la sua denominazione dal fatto di utilizzare macchine elettriche rotanti.

Tra questi i "gruppi integrati con motore endotermico ed accumulatore inerziale" presentano caratteristiche interessanti, qualora la richiesta di continuità debba essere superiore al tempo breve che un convenzionale sistema di continuità può mettere a disposizione. Le sorgenti interne ad accumulatori richiedono la disponibilità di locali con dimensioni adeguate per l'installazione e, inoltre, la complessità e l'occupazione di spazio dell'impianto si incrementano, qualora al sistema convenzionale si debba aggiungere un gruppo elettrogeneratore per assicurare la durata dell'alimentazione di riserva o di sicurezza.

2. IMPIANTI ELETTRICI CON ELEVATA QUALITÀ

La qualità di un impianto elettrico può essere definita come la capacità di fornire energia elettrica agli utilizzatori entro parametri adeguati alle funzioni che essi devono svolgere. Per questa ragione si può parlare di scarsa qualità sia quando si verifica che alcune prestazioni risultano insufficienti, sia quando tali prestazioni risultano esuberanti; il costo, elevato quando si fanno delle scelte esuberanti, è indice di scarsa qualità.

Un impianto elettrico realizzato con elevata qualità deve comprendere ciò che è necessario e solo l'analisi approfondita delle richieste dell'utente finale è l'elemento fondamentale a garanzia che la scelta del necessario coincide con quanto richiesto.

2.1. I parametri di riferimento

Nella prima fase di progettazione, per analizzare quanto un impianto elettrico sia adeguato alle richieste degli utilizzatori, è necessario definire alcuni parametri di riferimento; essi possono essere divisi nelle categorie così definite.

Parametri primari:

- potenza continuativa e transitoria necessaria per gli utilizzatori
- numero delle fasi, valore della tensione e suoi limiti statici e dinamici
- valore della frequenza e suoi limiti statici e dinamici
- massimo valore della distorsione armonica della forma d'onda con carico lineare e non lineare che può essere accettata dagli utilizzatori
- massimo tempo ammesso durante il quale gli utilizzatori accettano una alimentazione al di fuori dei parametri primari
- massimo valore di indisponibilità, inteso come numero di interruzioni di alimentazione dell'energia elettrica agli utilizzatori, in funzione del tempo

Parametri derivati:

- impedenza di cortocircuito del generatore impiegato per l'alimentazione ordinaria alla frequenza fondamentale
- modalità di gestione del neutro
- tempo medio tra guasti che si verificheranno nell'impianto (MTBF)
- tempo medio di riparazione che verrà richiesto in funzione della complessità dell'impianto (MTTR)

Parametri conseguenti:

- costo iniziale dell'impianto
- costo di manutenzione

2.2. Sorgenti di alimentazione

La sorgente principale di energia elettrica è generalmente la rete pubblica (disponibile anche da più di un fornitore). In particolari casi esistono sorgenti interne quali gli impianti di cogenerazione (generazione combinata di energia elettrica e termica) o contropressione e condensazione (trasformazione in energia elettrica di energia termica, resa disponibile dal processo sotto forma di vapore).

La determinazione delle caratteristiche e del numero delle sorgenti disponibili è un elemento importante per l'analisi dei parametri di riferimento.

2.3. Schemi fondamentali

Gli schemi elettrici di distribuzione che si possono utilizzare [1], una volta individuati i parametri di riferimento sopraelencati, dopo aver integrato le necessità che presentano i vari progettisti degli impianti, sono i seguenti.

2.3.1. Schema radiale semplice

Lo schema radiale semplice prevede il collegamento delle singole utenze ad un sistema di sbarre, connesso alla sorgente primaria. L'alimentazione viene assicurata solo se tutti i nodi e tutti i rami sono efficienti e se l'unica sorgente è disponibile.

2.3.2. Schema radiale doppio

Lo schema radiale doppio è la combinazione di due schemi radiali semplici disposti in modo da alimentare due sistemi di utilizzatori che svolgono le medesime funzioni; l'affidabilità di questo schema si consegue se le modalità costruttive dei due sistemi radiali semplici sono tali da assicurare l'indipendenza tra di loro, sia dal punto di vista funzionale, sia dal punto di vista della propagazione dei guasti.

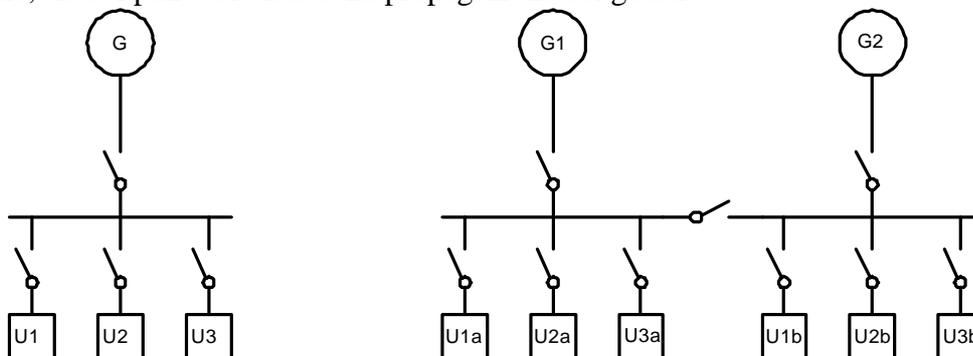


Fig.2 - Schema radiale semplice

Fig.1 - Schema radiale doppio con congiuntore

Nel caso in cui la ridondanza non sia possibile fino a livello degli utilizzatori è compito del progettista predisporre un sistema di commutazione [2] per il caso particolare.

Nello schema radiale doppio possono essere inserite anche alimentazioni in radiale semplice.

2.3.3. Schema ad anello

Lo schema ad anello prevede la connessione di sistemi di sbarre in modo da permetterne l'alimentazione da due lati; l'anello può essere gestito sia aperto sia chiuso. La posizione di un interruttore in aperto riconduce lo schema ad anello alle medesime caratteristiche dello schema radiale semplice: un guasto in una posizione critica può comportare di non poter rialimentare l'utenza interessata.

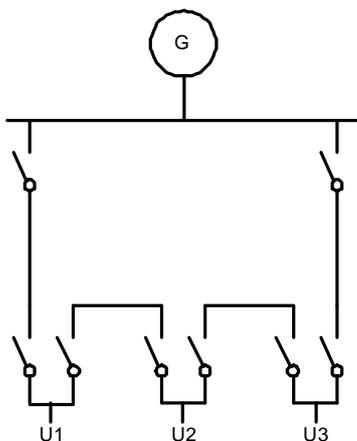


Fig.3 - Schema ad anello

2.4. La continuità del servizio

La qualità del prodotto elettricità ha nella continuità del servizio l'elemento fondamentale; per questo, l'ente fornitore ha previsto una serie di servizi a disposizione degli utenti. E' anche possibile soddisfare tutte le richieste di qualità degli utilizzatori applicando opportuni schemi o predisponendo diverse sorgenti.

Si può fare ricorso a schemi ridondanti (doppio radiale, anello) o sorgenti indipendenti (doppia cabina ENEL, cogenerazione) oppure si predispongono sorgenti interne di emergenza. Quando siano ammesse interruzioni dell'alimentazione dell'ordine di tempo dell'avviamento dei motori Diesel si possono utilizzare i gruppi elettrogeneratori; invece, nel caso che anche una

microinterruzione non sia tollerata dagli utilizzatori è necessario ricorrere ai gruppi di continuità. L'utilizzazione di questi due tipi di sorgenti assicura una maggiore continuità di servizio, ma una mancanza di alimentazione agli utilizzatori è sempre possibile a causa di un guasto della sorgente stessa. Comunque è certo che l'utilizzazione di queste sorgenti riduce il parametro valore di indisponibilità dovuto alla bassa qualità dell'alimentazione dalla rete pubblica o dovuto alla bassa qualità dell'impianto elettrico dell'utente, a monte del punto di inserimento di queste apparecchiature.

3. I GRUPPI DI CONTINUITÀ

Tali sorgenti costituiscono elementi importanti per elevare la qualità della fornitura in quanto consentono un maggior tempo di alimentazione della rete pubblica con energia al di fuori dei parametri richiesti (funzione come filtro): essi permettono, inoltre, l'alimentazione di carichi senza interruzione per un tempo prestabilito (funzione come riserva). Comunque è da tener conto la probabilità di indisponibilità a causa di un guasto.

Le attuali tecnologie [3] mettono a disposizione i seguenti macchinari:

Gruppi di continuità a riserva limitata

Gruppi di continuità a riserva illimitata

Nel primo tipo di macchine viene utilizzata una fonte di energia mediante il processo di accumulo, cui provvede la stessa macchina in presenza della sorgente primaria.

Il funzionamento di un gruppo di continuità a riserva limitata è visibile in figura 4.

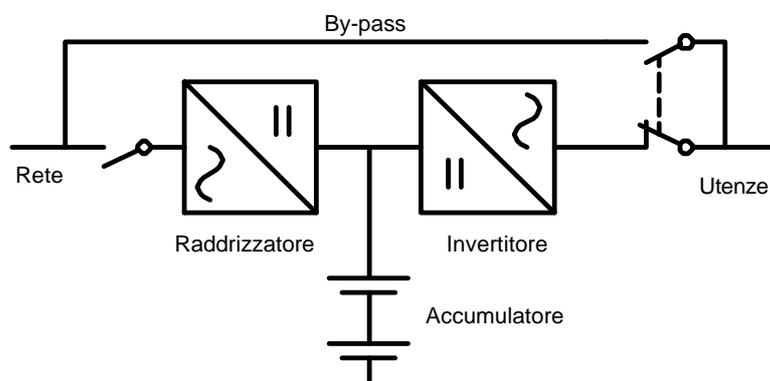


Fig.4 - Gruppo di continuità a riserva limitata

Questi sistemi utilizzano accumulatori come fonte di energia secondaria, per cui risulta indispensabile convertire l'energia primaria, da corrente alternata in corrente continua. È necessario utilizzare un secondo convertitore per ottenere la corrente alternata di alimentazione degli utilizzatori. I convertitori sono di tipo statico o di tipo rotante (con o senza parti meccaniche in movimento).

Il secondo tipo di macchine utilizza [4] anche una fonte di energia secondaria rifornita dall'esterno.

Il funzionamento di un gruppo di continuità a riserva illimitata è visibile in fig. 5.

La figura rappresenta una semplice soluzione che prevede l'installazione di un gruppo elettrogeneratore, composto da motore endotermico e da generatore sincrono, a

monte di un gruppo di continuità con accumulatori. In questo modo, la batteria deve disporre dell'energia sufficiente solo per il periodo di avviamento del motore endotermico. Poiché tale avviamento, con il motore mantenuto in condizioni di preriscaldamento, avviene in tempi ridotti (2 - 15 s) si riduce il dimensionamento della batteria, ma usualmente si considerano riserve non inferiori ai dieci minuti.

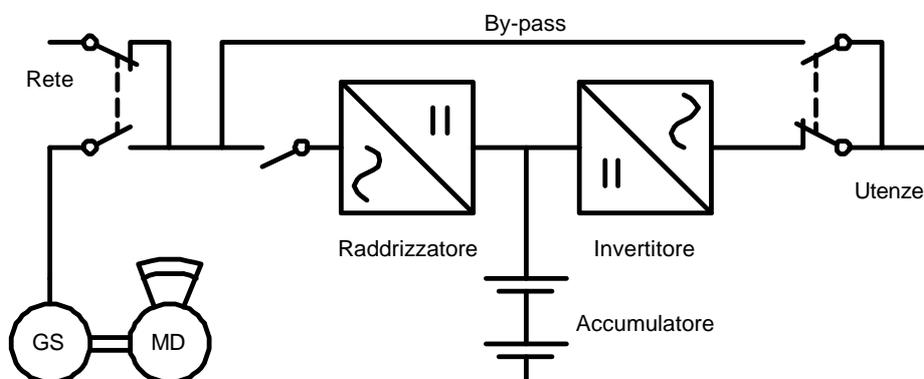


Fig.5 - Gruppo di continuità a riserva illimitata con gruppo elettrogeneratore

3.1. I gruppi di continuità statici ed i relativi problemi tecnici

Vengono utilizzati negli impianti dove sia richiesta una riserva limitata di energia nel tempo.

Oltre alle condizioni dovute a tale limitata riserva, legata al dimensionamento della batteria di accumulatori [5][6] ed alle conseguenti dimensioni dei locali disponibili, il progettista deve tener conto delle modalità di inserimento nell'impianto[4]; talvolta questi problemi vengono sottovalutati in fase di progetto e poi, nell'esercizio, si è costretti ad adottare soluzioni che abbassano l'affidabilità complessiva del sistema.

Come vedremo infatti, l'inserimento nel sistema di queste apparecchiature, scelte per elevare la disponibilità dell'alimentazione, può comportare l'insorgere di un guasto.

I problemi tecnici prodotti dalle macchine componenti i gruppi di continuità statici si possono così sintetizzare.

3.1.1. Convertitore corrente alternata - corrente continua

È la macchina componente connessa direttamente alla sorgente (rete pubblica) che l'utente ed il progettista ritengono insoddisfacente, in termini di qualità, fino al punto da richiedere l'installazione del gruppo di continuità.

I limiti di applicazione ed i problemi creati dal convertitore sono:

- elevata sensibilità alle sovratensioni di tipo atmosferico ed ai disturbi di tipo elettromagnetico (condotti o irradiati) generati da grandi utilizzatori presenti nell'impianto e connessi alla medesima sorgente
- fattore di potenza dell'energia assorbita dalla rete generalmente inferiore a 0,8 in ritardo nei sistemi che usano un ponte di raddrizzatori, e fattore di potenza di poco migliore nei sistemi a due ponti
- distorsione della corrente assorbita anche superiore al 40%, con contenuti di ordine quinta e settima armonica dominanti.
- difficoltà nel rifasamento con batterie di condensatori.

Per far fronte a questi problemi, che emergono generalmente dopo l'installazione del gruppo di continuità, si dovrà tardivamente ricorrere a:

- inserimento di protezioni contro le sovratensioni
- sovradimensionamento, in potenza apparente dei trasformatori MT / BT, dei cavi e delle protezioni.

Un guasto a questo convertitore, per esempio dovuto a un fulmine, non implica l'indisponibilità immediata della alimentazione agli utilizzatori alimentati dal gruppo di continuità: ciò per la durata dell'energia disponibile fornita dagli accumulatori.

3.1.2. *Convertitore corrente continua - corrente alternata*

E' la macchina componente connessa direttamente agli utilizzatori; i dati di uscita devono soddisfare la richiesta di qualità dei carichi nei suoi parametri primari, tenuto conto che il valore del tempo di riserva è determinato dagli accumulatori.

I limiti di applicazione ed i problemi creati da questi convertitori sono:

- valore di impedenza di cortocircuito elevato, per cui non sono in grado di fornire correnti di cortocircuito permanenti e subtransitorie superiori rispettivamente a 1,5 e 2 volte la corrente nominale massima erogabile. Vi sono casi particolari, quali gli invertitori a risonanza magnetica [5], in cui questo limite di applicazione è di minore importanza

- velocità di risposta al transitorio di carico relativamente basse (inferiori a 200 ms) per i convertitori a diodi controllati. Negli invertitori a risonanza magnetica questo limite di applicazione è di minore importanza

- valori di MTBF, per singolo equipaggiamento, inferiori alle 30 000 ore

- presenza di elevate quantità e concentrazioni di semiconduttori, di potenza e di segnale, con sviluppo di calore che obbliga, in molti casi, all'installazione in ambienti con condizionamento.

Le prime due limitazioni evidenziate influenzano la progettazione e l'analisi:

- del sistema di distribuzione a valle
- della capacità di alimentare carichi distorti
- della capacità di alimentare carichi con elevate correnti di avviamento.

Per quanto riguarda il dimensionamento del sistema di distribuzione [6] a valle, sorgono problemi nell'applicazione degli usuali metodi di selettività amperometrica e cronometrica degli interruttori magnetotermici. L'interruttore generale, installato sulla linea di alimentazione dal gruppo di continuità, in caso di cortocircuito sulle sbarre principali, potrebbe non intervenire in quanto la corrente di cortocircuito non è sufficiente a provocare l'intervento del relè magnetico. Occorre dimensionare correttamente il valore di taratura del più grande interruttore a valle in funzione della corrente nominale del gruppo di continuità. In mancanza di una corrente di cortocircuito elevata, in caso di guasto su una linea di alimentazione, la selettività di tipo cronometrico non è applicabile ed il tempo prolungato di eliminazione del guasto provoca il possibile propagarsi a monte del guasto stesso, rendendo vana la funzione delle protezioni, e la mancanza di tensione, agli altri utilizzatori non in cortocircuito, rendendo vana la funzione del gruppo di continuità.

Premesso che, un carico distorto [7][8] fa circolare nel sistema di alimentazione, oltre alla corrente fondamentale, correnti a frequenza multipla di essa e causa la distorsione armonica della tensione, si evidenzia che l'alimentazione dei carichi distorti, presenti negli utilizzatori di tipo elettronico, è possibile se il valore della corrente

di picco assorbita non supera il valore di limitazione della corrente della macchina; nella condizione di non limitazione della corrente della macchina (circa 1,5 volte il valore della corrente massima efficace) l'impedenza di cortocircuito del gruppo di continuità è bassa (circa 5% del valore di massimo carico). Questa caratteristica si riscontra in particolare nei convertitori del tipo a transistori con modulazione a larghezza di impulso. L'impedenza di cortocircuito del gruppo di continuità assume valori prossimi al 50% dell'impedenza di carico qualora il valore della corrente di picco assorbita tenda a superare il valore di limitazione della corrente di macchina. Questo tipo di comportamento è dovuto alla presenza di elementi semiconduttori che non ammettono sovracorrenti transitorie salvo sovradimensionamenti esagerati.

In caso di alimentazione di carichi con elevate correnti di avviamento si constata che la maggior parte delle macchine elettriche ed elettroniche provoca, all'inserzione, una sovracorrente di durata variabile da pochi millisecondi a qualche secondo. Ad esempio, un motore asincrono trifase, all'avviamento, fa circolare una corrente pari a circa 6 - 7 volte il valore massimo nominale [9] per un tempo che varia, in pratica, secondo la seguente relazione approssimata:

$$T_a = \frac{G \cdot D^2 \cdot n}{375 \cdot C_a}$$

con $G \cdot D^2$ l'inerzia delle masse rotanti complessive in Kgm^2
 n il numero dei giri nominali della macchina
 C_a la coppia accelerante media in Kgm (pari alla differenza tra la coppia motrice del motore e la coppia resistente della macchina accoppiata)

E' buona norma, in queste condizioni di avviamento, che la caduta di tensione ai morsetti del motore non sia superiore al 15% del valore nominale, ed essendo la caduta di tensione proporzionale all'impedenza di cortocircuito del generatore, si deduce che tale impedenza non debba superare circa il 4%. Conseguentemente è necessario dimensionare il convertitore corrente continua - corrente alternata in modo che all'inserzione di qualsiasi utenza ad esso collegata non si superi una corrente di picco pari al 150% della corrente massima da esso erogabile. Pertanto per alimentare un motore asincrono con potenza di targa di 100 kVA, tramite un gruppo di continuità statico, è necessario scegliere una potenza del gruppo di continuità pari a 400 kVA.

Le limitazioni di selettività e di riavviamento di carichi con elevate correnti di inserzione, possono essere superate tramite l'installazione di un commutatore statico che permette elevate correnti di cortocircuito, disponibili dalla sorgente primaria; è ovvio che l'efficienza del commutatore statico è compromessa qualora la sorgente primaria presenti un'interruzione di funzionamento. Inoltre il ricorrere all'installazione di un commutatore statico presenta difficoltà di funzionamento qualora siano inseriti in rete forti carichi distorcenti.

Riguardo all'installazione di più apparati in parallelo, metodo utilizzato al fine di garantire valori accettabili di disponibilità, si perviene ad un sistema di distribuzione che presenta nell'organo di parallelo e disinserzione della macchina guasta un "*collo di bottiglia*", che rende gli elementi ridondanti non indipendenti e che ha un valore di MTBF poco superiore a quello delle macchine di cui deve consentire la continuità di funzionamento.

3.1.3. *Gli accumulatori*

La batteria di accumulatori è l'elemento che costituisce la riserva del gruppo di continuità ed è un parametro primario della progettazione impiantistica. I limiti di applicazione e le problematiche introdotte sono soprattutto di ordine manutentivo, affidabilistico ed ambientale.

Per quanto riguarda la manutenzione, risultano necessari la verifica mensile dei livelli e della densità dell'elettrolito, e l'accertamento delle possibili incrostazioni ai morsetti dovute a presenza di soluzioni acide (batterie al piombo) od alcaline (batterie al nickel-cadmio). Le batterie al piombo di tipo ermetico o a ricombinazione vengono definite senza manutenzione: seppure in quantità minima, vi è comunque una emissione di vapori acidi che possono provocare corrosione ai morsetti ed ai collegamenti.

La verifica della densità dell'elettrolito nelle batterie stazionarie al piombo permette facilmente di conoscere lo stato di carica dell'accumulatore; questa verifica non è applicabile alle batterie al nickel-cadmio e risulta impossibile da effettuarsi nelle batterie ermetiche.

Per quanto riguarda l'affidabilità, è necessario dire che la vita di una batteria è influenzata dal tipo di apparati utilizzati per il suo mantenimento in carica, dal tipo di carico ad essa applicato durante questo stato e dalla temperatura di funzionamento. Si riporta il caso, a titolo di esempio, di un tipo di batteria ermetica al piombo, la quale, mantenuta in stato di carica, senza subire né cariche né scariche, ha una vita di circa 60 000 ore alla temperatura di 25 °C mentre ha una vita di circa 8 000 ore alla temperatura di 50 °C. Lo stesso tipo di batteria riduce la propria capacità al 50% dopo circa 250 scariche totali.

Considerando le temperature di un ambiente climatizzato e valutando statisticamente il numero dei cicli di carica e scarica e la loro durata, si può assumere un valore medio di MTBF attorno alle 4 000 ore.

Dal punto di vista ambientale, in osservanza alle Norme CEI, è necessario predisporre locali adatti per l'installazione delle batterie.

La Norma CEI 21.6 relativa a "Batterie di accumulatori stazionari al piombo" richiede (art. 3.1.1.1.) che i locali siano di altezza almeno superiore a 2 m con pavimento dotato di rivestimento antiacido, che gli scaffali siano opportunamente trattati e disposti in modo tale che, per tensioni superiori a 75 V, non sia possibile il contatto accidentale di due elementi aventi differenza di potenziale superiore al suddetto valore; ciò significa che, nella maggiore parte dei casi di batterie per gruppi di continuità, si dovranno prevedere corridoi, tra le file di elementi, di larghezza superiore a 1,20 m. È richiesto altresì un ricambio d'aria del locale nella fase di carica. Il valore di questo ricambio d'aria è da ricavare mediante l'applicazione di una formula matematica. In funzione della temperatura ambiente e della variazione di vita dell'accumulatore può essere necessario climatizzare l'ambiente con notevole dispendio di energia termica ed elettrica.

3.2. **I gruppi di continuità rotanti**

A differenza dei gruppi di continuità statici, quelli rotanti possono essere utilizzati sia in impianti dove è richiesta riserva limitata sia in quelli dove è richiesta riserva illimitata: possono utilizzare, come sorgente secondaria, accumulatori, motori endotermici o entrambe le sorgenti nel caso di necessità di riserva illimitata.

3.2.1. I gruppi di continuità rotanti a riserva limitata

La loro costituzione è molto simile a quella di un gruppo di continuità statico; sono composti da:

- convertitore statico corrente alternata - corrente continua
- convertitore rotante corrente continua - corrente alternata
- batteria di accumulatori

L'unico elemento che li differenzia dai gruppi di continuità statici è la presenza di un convertitore rotante corrente continua - corrente alternata anziché uno statico; questa sostituzione consente di superare le limitazioni appena viste per quanto concerne gli elevati valori della impedenza di cortocircuito dei gruppi di continuità statici, ed aumenta l'affidabilità del sistema, non richiedendo particolari impianti di climatizzazione.

Per quanto riguarda l'affidabilità, solo negli ultimi anni si sono resi disponibili elementi di rotolamento (cuscinetti a sfere e a rulli, bronzine) con valori di MTBF superiori a 100 000 h.

Esistono varie configurazioni per il convertitore corrente continua - corrente alternata.

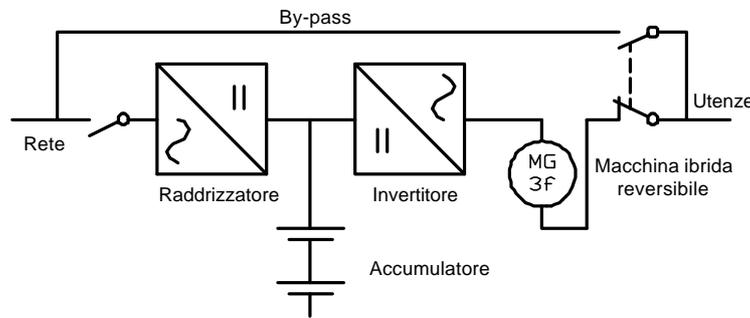


Fig.6 - Gruppo di continuità rotante con macchina reversibile

Analizziamo la catena sincrona costituita da invertitore statico a tiristori autocommutante e macchina ibrida reversibile (figura 6), più interessante sia dal punto di vista tecnico [10] sia da quello affidabilistico che utilizza il seguente principio di funzionamento da confrontare con quello

Un invertitore a tiristori di tipo autocommutante alimenta il consueto avvolgimento statorico (induttore) di un motore sincrono che dispone, sullo statore, di un secondo avvolgimento (indotto) a cui è connesso il carico; il rotore è alimentato, in corrente continua (figura 7), tramite una eccitatrice senza spazzole.

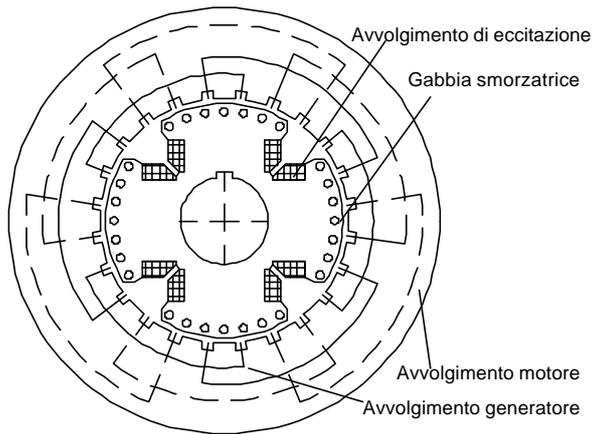


Fig.7 Macchina rotante ibrida

sia generate dall'invertitore di trascinamento sia generate da un eventuale carico distorto; ciò deriva dal fatto che le correnti armoniche generano campi rotanti per autoinduzione nella gabbia smorzatrice in rotazione. Tali campi non risultano sincronizzati con la velocità del rotore, per cui non inducono alcuna forza elettromotrice sull'avvolgimento statorico connesso con il carico.

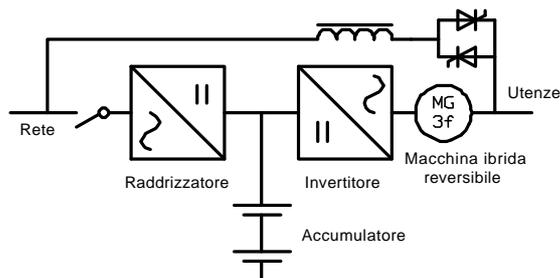


Fig.8 - Gruppo di continuità rotante ibrido con rete in parallelo

Risolve invece gli altri problemi relativi alla impedenza di cortocircuito, ai carichi distorti ed ai carichi con elevate correnti di avviamento.

Per migliorare il rendimento della catena di conversione alternata - continua - alternata si connette direttamente l'ingresso con l'uscita del gruppo di continuità attraverso un interruttore statico ed una induttanza (figura 8); in presenza della sorgente primaria, la macchina rotante funziona da stabilizzatore di tensione e filtro armonico mentre, al mancare della rete, diventa un convertitore corrente continua - corrente alternata.

Anche in questo caso, pur in presenza di vantaggi in termini di rendimento e di riduzione della distorsione della corrente assorbita, l'introduzione di elementi a se-

Sul rotore è presente un avvolgimento (denominato gabbia smorzatrice) in corto circuito. Si ottiene un duplice effetto: la presenza dei due avvolgimenti statorici simula, dal punto di vista magnetico, un trasformatore rotante a rapporto variabile entro limiti contenuti, con impedenza di cortocircuito notevolmente bassa (inferiore al 5% del valore di massimo carico); la variazione della corrente continua di eccitazione permette di variare il rapporto di trasformazione. La gabbia smorzatrice risulta un cortocircuito alle frequenze armoniche

La proprietà principale del convertitore corrente continua - corrente alternata descritto è la regolabilità in tensione. Questo convertitore risulta "sintonizzato" alla frequenza fondamentale e utilizza una sola macchina rotante di potenza. Una limitazione di questo tipo di macchina è la necessità di un motore di lancio che porti in funzionamento l'invertitore autocommutante.

La macchina presenta le medesime limitazioni precedentemente riscontrate per i gruppi di continuità statici, e riguardanti la presenza del convertitore corrente alternata - corrente continua e la presenza della batteria di accumulatori.

miconduttori relativamente fragili, esposti ai disturbi di una sorgente per la quale è prevista la presenza di un gruppo di continuità, può non migliorare l'affidabilità totale del sistema.

3.2.2. I gruppi di continuità rotanti a riserva illimitata

Esistono casi frequenti dove la richiesta di continuità, in termini di tempo, definita riserva dell'alimentazione, va oltre quelli imposti da un utilizzo economico degli accumulatori (15 - 30 min). Non essendo disponibili sul mercato accumulatori più efficienti, in termini di energia accumulata in rapporto a volumi e spazi occupati ed a pesi da considerare nelle costruzioni civili, è necessario utilizzare generatori alimentati da combustibili chimici o fossili (derivati del petrolio o gas naturali). Così facendo, non solo si prolunga il tempo di riserva, ma lo si rende "illimitato" disponendo di opportuni serbatoi di stoccaggio e provvedendo a rifornirli dall'esterno. Questi generatori producono, ai loro "morsetti di uscita", energia meccanica (motori a ciclo Otto e a ciclo Diesel, turbine a gas o a vapore).

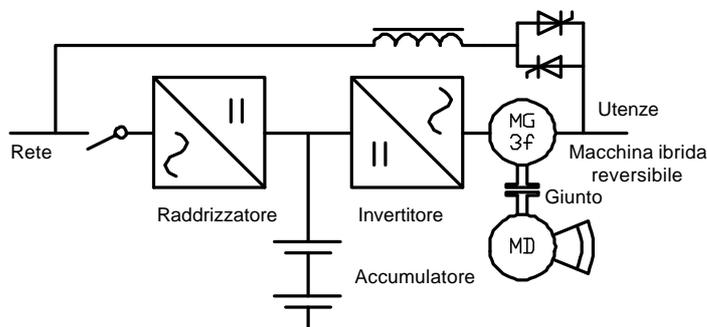


Fig.9 - Gruppo di continuità ibrido a riserva illimitata

9). Opportuni circuiti dovranno poi provvedere a spegnere l'invertitore a tiristori. I giunti elettromagnetici disponibili possono trasmettere potenze superiori a 2 000 kW.

Un motore endotermico, mantenuto in condizioni di preriscaldamento, può avviarsi in tempi molto brevi (2 - 15 s). Mettendo immediatamente in moto il motore endotermico, al mancare dell'energia primaria, l'effettivo tempo in cui la batteria di accumulatori deve fornire energia al sistema rotante si riduce a qualche secondo. Nel tentativo di eliminare totalmente la batteria si utilizzano accumulatori di energia cinetica detti "volani".

Il principio di funzionamento di queste macchine è illustrato in figura 10.

La sorgente primaria alimenta, attraverso il contattore TL, il motore sincrono M che mantiene in rotazione, alla velocità di 1 500 giri/min, il generatore sincrono GS, l'accumulatore cinetico (volano) V e la parte condotta del giunto elettromagnetico GE; i carichi utilizzatori sono alimentati dal generatore GS.

Al mancare della sorgente primaria viene aperto TL e l'energia accumulata in V provvede a:

- mantenere in rotazione M
- avviare il motore MD attraverso la chiusura di GE
- alimentare i carichi attraverso GS
- sopperire alle perdite meccaniche e di ventilazione

Dalle precedenti configurazioni di figura 6 e figura 8, una volta terminata l'energia disponibile negli accumulatori, si continua a mantenere in rotazione le varie macchine per mezzo di un motore a combustione interna. È sufficiente disporre di un giunto comandabile che, una volta messo in moto il motore endotermico, lo accoppi all'asse che già sta ruotando a 1 500 g/min (figura

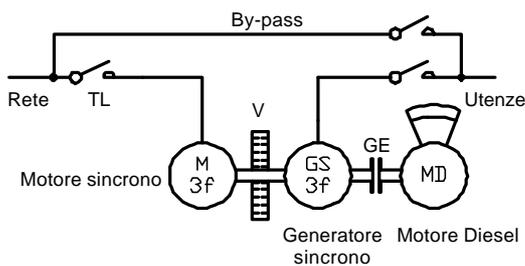


Fig.10- Gruppo di continuità a volano

Il volano deve praticamente fornire energia sino al raggiungimento della velocità di regime, da parte del motore Diesel. In questa condizione la velocità non deve comunque scendere al di sotto di valori tali per cui la frequenza di alimentazione dei carichi utilizzatori esca dalle tolleranze ammesse: -2%. Il valore dell'energia necessaria può essere così espresso:

$$W_u = \frac{J \cdot (\omega^2 - \omega_m^2)}{2}$$

dove

J = momento d'inerzia del volano

ω = velocità angolare nominale

ω_m = velocità angolare minima

W_u deve essere maggiore o uguale alla somma delle energie erogate:

$$W_u \geq \boxed{\text{energia ai morsetti del generatore GS}} + \boxed{\text{energia di avviamento del motore Diesel}} + \boxed{\text{energia per ventilazione e perdite}}$$

Dato un determinato momento d'inerzia del volano, proporzionale al suo peso ed al quadrato del diametro, l'energia cinetica totale è data dal quadrato della velocità angolare nominale. Quella fruibile è data dalla differenza dei quadrati delle velocità angolari, rispettivamente nominale e minima. Pertanto più ridotto risulta il salto di velocità meno sfruttabile è l'energia disponibile dal volano.

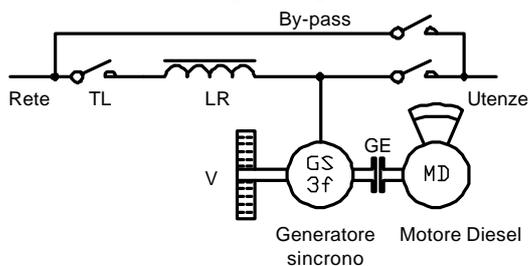


Fig.11 - Gruppo di continuità a volano con macchina reversibile

Una variante, spesso utilizzata, del sistema appena descritto, è visibile in figura 11.

In questo caso, il generatore sincrono GS funziona da motore sincrono, in condizioni di presenza della sorgente primaria: in questa condizione i carichi sono alimentati direttamente dalla sorgente stessa con evidenti vantaggi energetici. Si conseguono inoltre tre prerogative.

- Compensazione automatica della potenza reattiva assorbita dal carico in quanto la sovraeccitazione della macchina sincrona permette la generazione di potenza reattiva in anticipo.

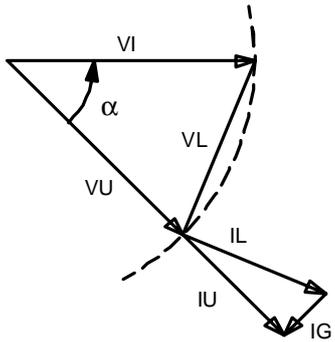


Fig.12 - Diagramma vettoriale delle tensioni e correnti in un sistema reversibile

- Stabilizzazione della tensione di uscita in base al diagramma vettoriale [11] riportato in figura 12.

- Filtraggio di eventuali correnti armoniche prodotte dagli utilizzatori, in quanto il quadripolo LR-GS svolge la funzione di passa-basso, relegando la circolazione di queste correnti all'interno della macchina sincrona.

3.3. I gruppi di continuità rotanti integrati con accumulatore inerziale

I sistemi a volano citati in precedenza presentano alcuni limiti, così evidenziati:

- l'energia accumulata nel sistema inerziale può essere utilizzata in quantità modeste (inferiori al 2% del totale, accettando variazioni di frequenza di 1 Hz). Questo deriva dai limiti nell'escursione di velocità, imposti dalle tolleranze ammesse nella frequenza di uscita;

- le notevoli masse inerziali coinvolte (circa 20 kg_p/kW), assiali con il generatore sincrono, modificano il tempo caratteristico della macchina elettrica che definisce la velocità di risposta;

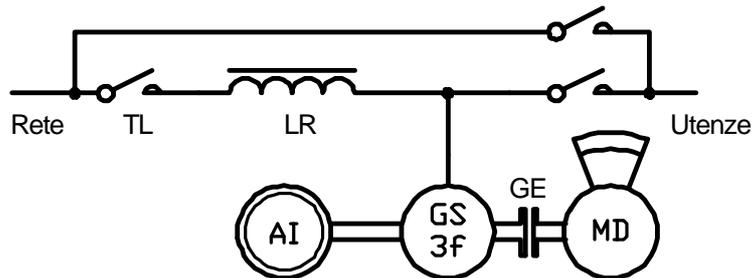
- l'incremento del momento d'inerzia dell'insieme macchina elettrica e volano, in caso di rapide variazioni di frequenza della sorgente primaria, rende critico il sistema e determina possibili perdite di passo; ne consegue la pratica impossibilità alla corretta regolazione del parallelo di più macchine.

I gruppi di continuità rotanti integrati con accumulatore inerziale svincolano meccanicamente la sorgente di energia temporanea dall'asse rotante principale e utilizzano in maniera più efficiente l'energia accumulata: si tratta quindi di macchine in grado di trasformare energia cinetica a velocità variabile in energia cinetica a velocità pressoché costante, sfruttando un asse di rotazione diverso da quello del generatore.

I gruppi di continuità rotanti integrati con accumulatore inerziale svincolano meccanicamente la sorgente di energia temporanea dall'asse rotante principale e utilizzano in maniera più efficiente l'energia accumulata: si tratta quindi di macchine in grado di trasformare energia cinetica a velocità variabile in energia cinetica a velocità pressoché costante, sfruttando un asse di rotazione diverso da quello del generatore.

3.3.1. Descrizione del funzionamento in presenza rete

Lo schema della macchina è rappresentato in figura 13.



TL = Contattore su avvolgimento statorico

LR = Induttanza su avvolgimento statorico

AI = Accumulatore inerziale

GS = Macchina sincrona

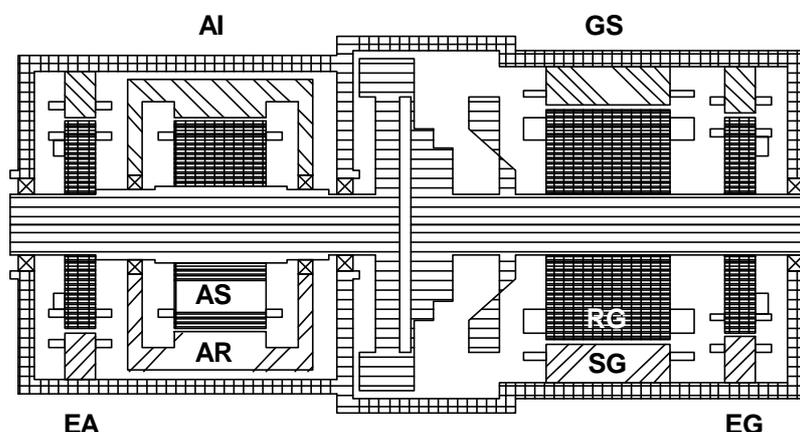
GE = Giunto elettromagnetico

MD = Motore Diesel

Fig.13 - Sistema di continuità rotante con motore endotermico ed accumulatore inerziale

Il funzionamento si basa sul principio della macchina sincrona reversibile (figura 11), mediante l'utilizzazione di un ulteriore accumulatore inerziale asincrono e di un freno elettromagnetico integrato comandato ad impulsi.

Occorre dire che, in presenza della sorgente primaria, la macchina sincrona GS viene alimentata, sul proprio avvolgimento statorico, attraverso il contattore TL e l'induttanza LR: la velocità di sincronismo risulta di 1 500 giri/min. Essa trascina sul proprio asse la parte condotta del giunto elettromagnetico GE (figura 13) e l'induttore AS dell'accumulatore inerziale AI (figura 14). L'avvolgimento induttore AS risulta alimentato in corrente alternata dall'eccitatrice rotante EA, del motore asincrono che ha come indotto l'avvolgimento a gabbia AR, libero di ruotare sull'asse principale. La differenza nel numero dei poli dell'induttore (12) e dell'indotto (16) porta il rotore asincrono alla velocità relativa di 1 080 giri al minuto. Tale velocità si somma alla velocità di rotazione



AI = Accumulatore inerziale	GS = Macchina sincrona
AS = Induttore dell'accumulatore inerziale	RG = Rotore della macchina sincrona
AR = Indotto dell'accumulatore inerziale	SG = Statore della macchina sincrona
EA = Eccitatrice dell'accumulatore inerziale	EG = Eccitatrice della macchina sincrona

Fig.14 - Disegno costruttivo di principio del sistema inerziale integrato;

dell'induttore (1 500 giri al minuto): la velocità di rotazione del sistema risulta pertanto di 2 580 giri al minuto.

Assieme all'avvolgimento induttore AS del motore asincrono, viene posto un altro avvolgimento alimentato in corrente continua mediante un circuito a diodi rotanti derivato dall'eccitatrice EA. All'occorrenza, tale avvolgimento agisce da induttore nei confronti dell'avvolgimento a gabbia AR, che, in questo caso, funziona come indotto di un generatore sincrono in corto circuito e pertanto costituisce un freno elettromagnetico.

3.3.2. Descrizione del funzionamento in assenza rete

Al mancare della sorgente primaria, si apre il contattore TL, si avvia il motore endotermico tramite il proprio motore di lancio e viene disalimentato in corrente alter-

nata l'avvolgimento induttore AS dell'accumulatore inerziale. L'asse principale della macchina inizia a rallentare con legge determinata dal momento d'inerzia della macchina sincrona e dall'entità dei carichi utilizzatori. Al raggiungimento della velocità di 1 495 giri al minuto si eccita l'avvolgimento induttore AS, in corrente continua; avviene il trasferimento all'asse principale dell'energia cinetica accumulata nel rotore che ruota alla velocità di 2 580 giri/min. Quest'ultimo rallenta, e contemporaneamente accelera l'asse principale. Una volta raggiunta la velocità di 1 505 giri/min, l'avvolgimento induttore AS, in corrente continua, che svolge la funzione di freno elettromagnetico, viene diseccitato. Questo processo di eccitazione e diseccitazione del freno, prosegue fino al raggiungimento della velocità di regime, da parte del motore endotermico. Dopo il tempo di 1 s dalla mancanza della sorgente primaria, indipendentemente dal fatto che il motore si sia avviato, viene chiuso il giunto elettromagnetico GE.

Si presentano due possibilità.

- Avviamento spontaneo del motore Diesel:

il motore non oppone alcuna coppia resistente e viene trascinato dall'accumulatore inerziale AI sino alla velocità di sincronismo.

- Mancato avviamento del motore Diesel:

il motore si avvia, sfruttando l'energia disponibile nell'accumulatore inerziale AI e raggiunge la velocità di regime dopo circa 1 s.

Nelle condizioni più gravose la velocità minima raggiunta dall'accumulatore inerziale AI non diminuisce a valori inferiori a 1 800 giri al minuto, corrispondenti ad un utilizzo di circa il 50% di energia cinetica accumulata.

Al ritorno della sorgente primaria un sistema automatico di sincronizzazione e parallelo, provvede alla richiusura del contattore TL, all'apertura del giunto elettromagnetico GE ed al ripristino delle condizioni iniziali.

3.3.3. *Caratteristiche elettriche*

Queste macchine presentano le seguenti qualità:

- elevato rendimento (superiore al 95%) in presenza della sorgente primaria;
- stabilizzazione della tensione e della frequenza di uscita entro valori contenuti ($\pm 1\%$) in tutte le condizioni di funzionamento;
- rifasamento dei carichi utilizzatori;
- risposta al cortocircuito mediante correnti di cortocircuito subtransitorie elevate (circa 17 volte la corrente nominale) paragonabili a quelle che si verificano in un impianto alimentato con i tradizionali trasformatori;
- capacità di alimentare carichi utilizzatori distortanti e di sopportare elevati valori di corrente di picco senza introdurre apprezzabili distorsioni nella tensione di uscita e nella corrente assorbita;
- riduzione del corretto sovradimensionamento dei sistemi a monte per far fronte alle componenti armoniche e al fattore di potenza dell'energia assorbita;
- possibilità di funzionamento in parallelo di più macchine.

3.3.4. *Caratteristiche di affidabilità e manutenzione*

Il concetto di "continuità" presuppone che il sistema debba essere intrinsecamente affidabile. Sicuramente più affidabile della sorgente che soccorre e degli apparati che alimenta: se non lo fosse decadrebbero le ragioni per cui è stato introdotto. Da questo punto di vista la macchina offre prestazioni così riassunte:

- elevato valore di MTBF, circa 100 000 h, per il numero dei componenti elettronici ridotto rispetto ai sistemi di tipo statico, e per la disponibilità di elementi di rotolamento di qualità;

- garanzia di avviamento del motore endotermico in quanto sono disponibili due "vie" diverse, ridondanti ed indipendenti, per la messa in moto. La prima, simile a quella dei gruppi elettrogeneratori, è costituita dal motore d'avviamento; la seconda è costituita dall'accumulatore inerziale, che rende disponibile energia cinetica con velocità di lancio pari a quella di regime.

Dal punto di vista della manutenzione esso richiede maggior intervento rispetto a un gruppo totalmente statico.

3.4. Caratteristiche meccaniche, ambientali e problemi di installazione

Rispetto all'installazione di un gruppo di continuità statico nell'approntamento dei locali destinati ai gruppi di continuità rotanti ed ai gruppi di continuità rotanti con accumulatore inerziale, non è necessario reperire gli spazi destinati agli accumulatori e vengono superate le necessità impiantistiche di condizionamento dell'ambiente dovute alla sovratemperatura ammessa dal gruppo statico.

Rispetto ai gruppi di continuità rotanti a volano il sistema integrato con accumulatore inerziale presenta vantaggi dal punto di vista della installazione [15] e della sicurezza, così descritti:

- l'energia cinetica utilizzabile è superiore per cui la massa inerziale può avere, a parità di diametro, un peso inferiore (l'ordine di grandezza che definisce il vantaggio è 25 volte);

- la costanza del tempo caratteristico e del momento dinamico della macchina sincrona permettono il parallelo e la corretta regolazione di più macchine;

- la riserva di energia è indipendente dalle batterie di accumulatori.

3.4.1. Ventilazione ed evacuazione dei gas di scarico

Nei sistemi integrati con accumulatore inerziale, la presenza nei macchinari di motori a combustione interna e generatori elettrici implica notevoli emissioni di calore nell'ambiente in cui vengono installati. I problemi connessi riguardano le due condizioni di funzionamento: a motore endotermico fermo e a motore endotermico in moto.

In presenza della sorgente primaria le macchine elettriche sono in funzionamento continuo ed emettono, generalmente, una quantità di calore pari alle loro perdite; in funzione del tipo e della potenza del gruppo di continuità, la potenza termica può oscillare tra il 5% ed il 25% della potenza attiva nominale del sistema. Il metodo di evacuazione del calore consiste nel prevedere un elettroventilatore e relativo termostato, nell'ambiente di installazione.

Al mancare della sorgente primaria, il motore endotermico entra in funzione e produce le seguenti emissioni termiche:

- una potenza termica pari circa al valore della potenza attiva erogata dalla macchina elettrica viene emessa con i gas di scarico;

- una potenza dello stesso valore all'incirca deve essere smaltita attraverso il sistema di raffreddamento, a liquido e scambiatore di calore (radiatore) oppure con autoventilazione ad aria;

- una potenza pari a circa il 15% della potenza erogata dalla macchina elettrica viene immessa nell'ambiente di installazione per irraggiamento.

Il motore endotermico provvede alla circolazione forzata delle quantità d'aria necessarie per lo smaltimento delle emissioni termiche: è richiesto un idoneo dimensionamento delle sezioni di ingresso e di uscita dell'aria ed un loro posizionamento in modo che il flusso dell'aria lambisca la macchina, effettuando un lavaggio completo del locale.

3.4.2. Deposito dei combustibili

Analogamente a quanto necessario per i gruppi elettrogeneratori tradizionali, viene normalmente previsto un serbatoio ausiliario di capacità non superiore a 120 l nel locale di installazione o a bordo della macchina, per l'alimentazione del motore endotermico per caduta. Il rifornimento di questo serbatoio avviene attraverso elettropompe automatiche che prelevano il combustibile dalla cisterna principale.

3.4.3. Problemi di emissione sonora

Per tutti i tipi di gruppi di continuità rotanti esistono problemi di emissione sonora: in particolare per quelli con accumulatore inerziale l'emissione sonora si riscontra sia nella condizione di motore endotermico in funzione sia nella condizione che esso sia fermo. In base alle norme, alle leggi e alle specifiche condizioni ambientali di installazione, può essere richiesto un intervento di insonorizzazione. Gli interventi più frequenti si limitano alla utilizzazione di particolari condotti sia per l'aria di ingresso sia per quella di uscita. In casi particolari può essere necessario il rivestimento del locale di installazione con opportuni pannelli fonoassorbenti e l'adozione di serramenti fonoisolanti.

4. L'INSERIMENTO NEGLI IMPIANTI DEI GRUPPI DI CONTINUITÀ

La necessità di inserire un gruppo di continuità in un impianto elettrico è dettata dal tipo di utilizzatori che si alimentano [12][17]. Esistono casi particolari, quali gli ospedali, in cui le norme ne contemplano indirettamente l'uso [1] (CEI 64.4 Capitolo 4 - Alimentazione di sicurezza, art. 4.1.01. - Scopo e caratteristiche della Norma e CEI 64-8 Capitolo 2 - Definizioni relative agli impianti, art. 2.1.18 - Alimentazione (dei servizi) di sicurezza).

È regola d'arte individuare, da parte del progettista elettrico, i tipi di utenze presenti nell'impianto in funzione del periodo di tempo di interruzione dell'alimentazione che possono sopportare, ovviamente mediante il supporto di esperti del processo.

La classificazione normalizzata prevede le seguenti categorie.

- Utilizzatori ordinari: possono sopportare interruzioni per periodi di tempo anche prolungati (dell'ordine di alcune ore).

- Utilizzatori preferenziali: possono sopportare interruzioni per periodi di tempo brevi (dell'ordine di alcuni minuti).

- Utilizzatori privilegiati: possono sopportare interruzioni brevissime (< 0,5 s) fino alla richiesta della continuità (assenza di interruzione al mancare della sorgente primaria).

La tipologia generale dell'impianto elettrico, le condizioni di fornitura di energia elettrica da parte dell'impresa elettrocommerciale e le necessità del processo definiscono l'autonomia (tempo di funzionamento garantito) che la sorgente ausiliaria deve mettere a

disposizione [1]. Ne discende che la scelta di uno specifico gruppo di continuità può solo essere frutto di uno studio analitico di tutte le condizioni che si possono presentare.

Ulteriori limitazioni provengono dal fatto che si stia progettando un impianto nuovo oppure si stia adeguando un impianto esistente a nuove esigenze.

4.1. Studio di nuovi impianti

Una volta classificati gli utilizzatori e verificate le condizioni di alimentazione che si possono presentare, per i carichi privilegiati è necessario individuare, oltre ai convenzionali parametri di tensione, potenza, ecc., i seguenti dati.

- Autonomia necessaria: utilizzando un unico gruppo di continuità, l'autonomia del carico più esigente determina la condizione per tutti gli altri.

- Influenze reciproche dei carichi: utilizzando un unico gruppo di continuità vanno considerate le correnti di avviamento e le distorsioni di corrente dei carichi e la capacità del gruppo prescelto di garantire la selettività, in caso di cortocircuito su una utenza, senza introdurre apprezzabili deformazioni alla forma d'onda.

- Disponibilità effettivamente necessaria: la previsione di un gruppo di continuità deve servire per elevare la disponibilità di alimentazione all'utenza. Sono da evitare inutili ridondanze nei gruppi di continuità quando le utenze non lo necessitano o non usufruiscono di un aumento della disponibilità del servizio, pur essendo garantita una alimentazione in continuità con elevati valori di disponibilità.

Questo tipo di analisi potrebbe portare alla decisione di utilizzare [18], quando le autonomie richieste lo permettono, diversi piccoli gruppi di continuità statici "*dedicati*" per utilizzatore. Se si richiedono invece autonomie di lunga durata, che implicano l'utilizzazione di motori a combustione interna, oppure se le caratteristiche del carico sono tali per cui risulta indispensabile l'uso di un gruppo di continuità rotante, lo studio dell'impianto [19] dovrà considerare in modo corretto la posizione nello schema dei carichi privilegiati e quella dei carichi preferenziali.

Quando il dimensionamento di un gruppo elettrogeneratore risulti necessario per alimentare i tradizionali carichi preferenziali ma anche per garantire il supporto all'alimentazione di un gruppo di continuità a riserva limitata, ed i carichi privilegiati richiedano una potenza prevalente rispetto ai carichi preferenziali, potrà essere considerata l'ipotesi di semplificare l'impianto e di unificare l'alimentazione sotto ad un unico gruppo di continuità.

In altri casi, risultando problematica e non conveniente per le difficoltà di gestione, la stesura di tre distinte reti di distribuzione, necessarie ad alimentare le rispettive classi di utilizzatori (ordinari, preferenziali, privilegiati), va ricercata una soluzione unitaria: in queste condizioni, secondo quanto esposto nei precedenti paragrafi, una soluzione possibile è quella di prevedere gruppi di continuità rotanti integrati con accumulatore inerziale.

4.2. Studio dell'inserimento dei gruppi di continuità negli impianti esistenti

Si presentano varie alternative in funzione della potenza dei carichi già esistenti nell'impianto, suddivisi nelle tre classi citate, ed in funzione di nuovi carichi privilegiati da inserire nell'impianto terziario od industriale.

Negli impianti esistenti in cui risulta già installata una sorgente preferenziale (gruppo elettrogeneratore) vi sono diverse condizioni in funzione della potenza del gruppo esistente e di quella dei nuovi carichi da aggiungere nell'impianto. Ne consegue un'ampia casistica che determina soluzioni con diverse macchine e con conseguenti costi economici da valutare.

Nella successiva tabella 1 esaminiamo le possibili situazioni e le soluzioni proposte:

Tab. 1 - Scelte del tipo di gruppo di continuità in funzione della riserva necessaria e della preesistenza di sorgenti preferenziali

	Utilizzatori privilegiati con riserva < 10 min da inserire in impianto esistente	
	Potenza < 100 kW	Potenza > 100 kW
Sorgente preferenziale esistente		
Potenza = 0	Gruppo statico batteria accumulatori	Gruppo rotante Batteria di accumulatori
Potenza < 100 kW	Gruppo statico Batteria di accumulatori	Gruppo rotante Batteria di accumulatori
Potenza > 100 kW	Gruppo statico Batteria di accumulatori	Gruppo rotante Batteria di accumulatori

	Utilizzatori privilegiati con riserva > 10 min < 30 min da inserire in impianto esistente	
	Potenza < 100 kW	Potenza > 100 kW
Sorgente preferenziale esistente		
Potenza =0	Gruppo statico Batteria di accumulatori	Gruppo rotante integrato Accumulatore inerziale
Potenza < 100 kW	Gruppo statico Batteria di accumulatori Nuovo gruppo elettrogeno	Gruppo rotante integrato Accumulatore inerziale
Potenza > 100 kW	Gruppo statico Batteria di accumulatori	Gruppo rotante Batteria di accumulatori

	Utilizzatori privilegiati con riserva > 30 min da inserire in impianto esistente	
	Potenza < 100 kW	Potenza > 100 kW
Sorgente preferenziale esistente		
Potenza = 0	Gruppo statico Batteria di accumulatori Gruppo elettrogeno	Gruppo rotante integrato Accumulatore inerziale
Potenza < 100 kW	Gruppo statico Batteria di accumulatori Nuovo gruppo elettrogeno	Gruppo rotante integrato Accumulatore inerziale
Potenza > 100 kW	Gruppo statico Batteria di accumulatori	Gruppo rotante Batteria di accumulatori

Esaminiamone alcune in dettaglio.

1) - Non sono presenti né utilizzatori preferenziali né utilizzatori privilegiati; l'entità degli utilizzatori privilegiati da inserire è modesta (< 100 kW).

Non essendo dotato l'impianto preesistente di sorgente preferenziale, (gruppo elettrogeneratore), la riserva richiesta dal processo determina l'autonomia del gruppo di continuità. Fino a limiti di durata della riserva di 30 min risulta conveniente l'utilizzazione di gruppi di continuità statici con accumulatori; in caso di durata della riserva superiore a 30 min conviene installare, a monte del gruppo di continuità, un gruppo elettrogeneratore.

2) - Non sono presenti né utilizzatori preferenziali né utilizzatori privilegiati; l'entità degli utilizzatori privilegiati da inserire è elevata (> 100 kW).

L'analisi conferma che la riserva richiesta dal processo determina l'autonomia del gruppo di continuità. Per limiti di durata inferiori a 10 min è conveniente l'utilizzo di un gruppo di continuità rotante con accumulatori; in caso di tempi superiori risulta conveniente l'installazione di un gruppo di continuità rotante con accumulatore inerziale anziché supportare l'alimentazione di un gruppo di continuità rotante con accumulatori mediante l'inserimento a monte di un gruppo elettrogeneratore. L'utilizzazione dei gruppi rotanti è giustificata dalla necessità di rispondere ai problemi creati dalle correnti di avviamento e dai carichi distorcenti e dal poter garantire correnti elevate di guasto ai fini della selettività e del coordinamento delle protezioni.

3) - Sono già presenti, nell'impianto esistente, utilizzatori preferenziali >100 kW; l'entità degli utilizzatori privilegiati da inserire è modesta (< 100 kW).

Essendo già disponibile nell'impianto una sorgente preferenziale (gruppo elettrogeneratore) di elevata potenza, si prevede l'inserimento di un gruppo di continuità statico con accumulatori dimensionati per riserva minima, ma non inferiore a 5 - 10 min ed il complesso gruppo elettrogeneratore più gruppo statico viene a costituire un gruppo di continuità a riserva illimitata.

4) - Sono già presenti, nell'impianto esistente, utilizzatori preferenziali > 100 kW; l'entità degli utilizzatori privilegiati da inserire è elevata (> 100 kW).

L'utilizzazione di gruppi statici può costituire fonte dei problemi relativamente ai carichi distorcenti ed alle correnti di cortocircuito. L'installazione di accumulatori per riserve superiori ai 10 min con questa rilevante potenza in gioco può costituire ulteriore fonte di problemi. In funzione della potenza del gruppo elettrogeneratore potrebbe essere conveniente utilizzare gruppi di continuità rotanti con accumulatore inerziale.

5. ADEGUAMENTO DI UN IMPIANTO ELETTRICO ALLE ESIGENZE DETERMINATE DALL'INSERIMENTO DI NUOVE UTENZE.

Esponiamo, a titolo di esempio, il caso di un impianto elettrico modificato a causa dell'inserimento di nuove utenze con esigenze più ristrette per quanto riguarda l'affidabilità del servizio e la continuità.

5.1 La situazione elettrica esistente prima dell'intervento

L'impianto utilizzatore, a ciclo continuo, è destinato alla estrazione di solventi da residui di lavorazioni chimiche: l'impianto tecnologico è gestito in maniera semiautomatica con interventi manuali di regolazione.

Le utenze elettriche sono le seguenti.

Tab. 2 - Utenze elettriche prima dell'intervento

N°	Utenza	P unit. kVA	P totale kVA
1	Motori asincroni per pompe di circolazione liquidi	10 - 100	300
2	Elettrovalvole di intercettazione liquidi	0,5 - 5	80
3	Motori asincroni per pompe acqua antincendio	15 - 20	70
4	Illuminazione con tubi a fluorescenza e vapori di sodio	0,05 - 0,25	80
5	Brucciatori e circuiti ausiliari caldaie produzione vapore	5	20
6	Elaboratore elettronico gestionale	20	20
	Totale		570

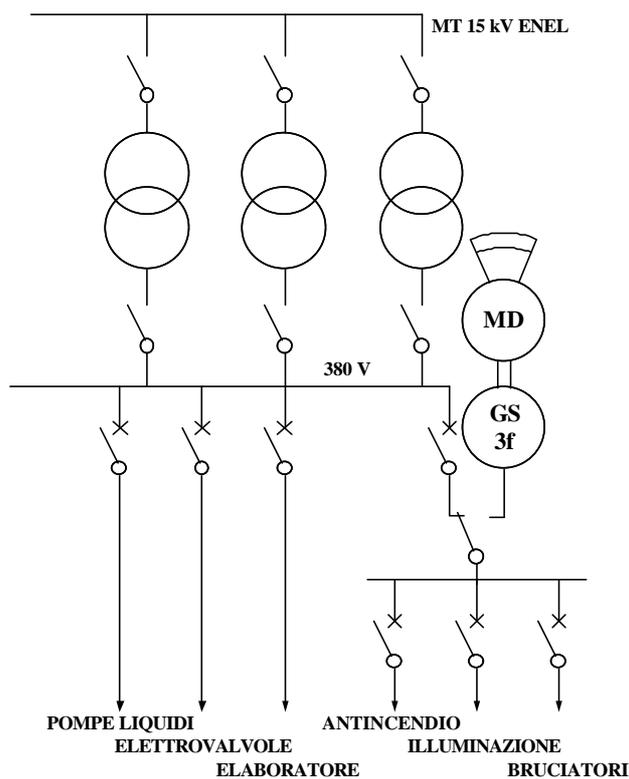


Fig. 15 - Impianto elettrico esistente

In queste condizioni di impianto, è stata effettuata la valutazione economica di un guasto, escludendo i danni dovuti alla fermata dell'elaboratore elettronico, contemplando i seguenti costi:

- perdita di materiale in trasformazione, manodopera e mancato utile per il tempo di interruzione,
- costi di riavviamento, comprendendo i materiali, la manodopera ed il mancato utile per il tempo di riavviamento.

Il costo medio di una interruzione sul circuito in MT provoca una perdita approssimativa di 12 milioni di lire; la stima sui circuiti in BT risulta più difficoltosa in quanto si presentano casi diversi in funzione del tipo di guasto.

5.2 Le modifiche apportate all'impianto tecnologico

Le necessità di rendere più efficiente l'impianto, di migliorare la qualità del prodotto e di ridurre i costi di produzione hanno condotto alla decisione di sostituire alcuni elementi dell'impianto e di introdurre un sistema di gestione del processo automatizzato.

Queste scelte hanno portato alla rianalisi di tutto l'impianto elettrico ed a considerare i costi di una interruzione anche di pochi millisecondi che potesse influire negativamente sul funzionamento del processo gestito da elaboratore elettronico.

Si sono così classificati tre distinti tipi di carico:

- Utilizzatori ordinari: possono sopportare interruzioni per periodi di tempo prolungati (anche dell'ordine di alcune ore: alimentazione ordinaria).

Le sorgenti di alimentazione sono le seguenti.

- Cabina elettrica MT/BT con tre trasformatori in parallelo da 400 kVA

- Gruppo elettrogeno con potenza di 200 kVA per l'alimentazione di emergenza delle utenze 3 - 4 - 5.

Dall'esperienza di esercizio, l'indisponibilità della sorgente in MT risulta essere di un guasto ogni 3 000 ore circa, con una durata dell'interruzione pari a circa 20 min; per quanto riguarda la BT, sulla linea di alimentazione dell'elaboratore elettronico gestionale, il tempo medio tra i guasti risulta essere di circa 2 000 ore, con una durata media di 20 min; nella statistica non sono state considerate interruzioni di durata inferiore a 500 mS, in quanto ininfluenti (a parte l'elaboratore elettronico gestionale) sul processo.

- Utilizzatori preferenziali: possono sopportare interruzioni per periodi di tempo brevi (anche dell'ordine di alcuni minuti: alimentazione di emergenza).

- Utilizzatori privilegiati: possono sopportare interruzioni brevissime (< 0,5 s) fino alla richiesta della continuità (assenza di interruzione al mancare della sorgente primaria: alimentazione di continuità).

Tab. 3 - Utenze elettriche dopo le modifiche apportate all'impianto

N°	Utenza	P unit. kVA	P tot. kVA	Tipo
1	Motori per pompe di circolazione processo raffinazione	10 - 100	250	PRIV
2	Motori per pompe di caricamento	10 - 100	50	ORD
3	Elettrovalvole di intercettazione liquidi	0,5 - 5	80	PRIV
4	Elaboratore di processo	35	35	PRIV
5	Motori asincroni per pompe acqua antincendio	15 - 20	70	PREF
6	Illuminazione con tubi a fluorescenza e vapori di sodio	0,05 - 0,3	80	PREF
7	Brucciatori e circuiti ausiliari caldaie produzione vapore	5	20	PRIV
8	Elaboratore elettronico gestionale	20	20	PRIV
	Totale		605	

Una stima, basata sull'esperienza precedente, ha portato a valutare in circa 1 500 ore il valore di MTBF della sorgente in MT comprendendo anche interruzione inferiori a 0,5 S. Per quanto riguarda l'influenza dell'impianto interno sulla disponibilità della alimentazione ai circuiti in BT si può ritenere attendibile un guasto ogni 3 000 ore che riduce il valore di MTBF sui circuiti in BT a circa 1 000 ore.

Dal punto di vista della riserva, sia della alimentazione di emergenza sia della alimentazione di continuità, un valore statistico di 30 min può essere ritenuto aderente alla realtà.

La classificazione riportata nella tabella, oltre a soddisfare esigenze quali l'alimentazione dei sistemi antincendio, dell'elaboratore di processo e dell'elaboratore gestionale prevede di alimentare in continuità anche tutto il sistema di circolazione e controllo dei fluidi di processo, al fine di evitare i costi sinora pagati per una interruzione.

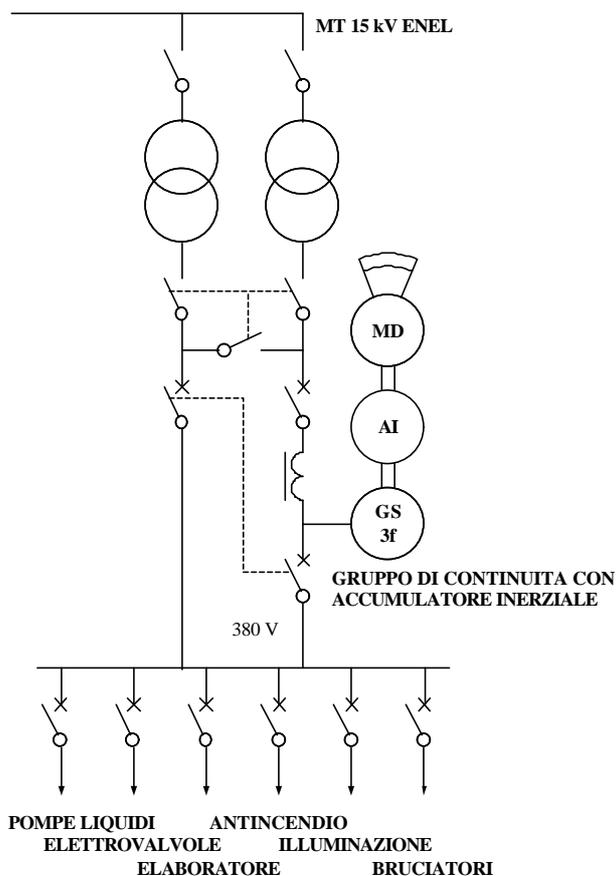


Fig. 16 - Modifiche all'impianto

Una stima, che contempla come interruzioni dannose anche quelle inferiori a 0,5 s, porta i costi annui dovuti a disservizi sulla rete elettrica a circa 108 milioni di Lire (MTBF=1 000 ore corrispondente a 9 interruzioni annue con costo unitario di 12 milioni di Lire)

Una stima che ipotizzando di installare un gruppo di continuità dedicato solamente agli elaboratori (di gestione e di processo) porta i costi annui dovuti a disservizi sulla rete elettrica a circa 48 milioni di Lire (MTBF=2 000 h corrispondente a 4 interruzioni annue con costo unitario di 12 milioni di Lire).

L'analisi di ritorno economico viene svolta considerando i seguenti dati:

- valori in denaro riferiti alla data attuale (non vengono considerati la svalutazione e il costo del denaro);
- quote di ammortamento dell'investimento riferite alla vita operativa del macchinario acquistato (non vengono considerate le quote di

ammortamento fiscale);

- costi di manutenzione preventiva
- costi medi di riparazione in base ai valori di MTBF dichiarati dai costruttori delle macchine (non si considera di stipulare un contratto di manutenzione comprensivo di manodopera e materiali eventualmente da sostituire)
- costo di un gruppo statico di continuità con potenza di 100 kVA (sovradimensionato a causa delle correnti di avviamento degli elaboratori e della distorsione della corrente da essi assorbita) e autonomia di 30 min alla potenza erogata di 60 kVA;
- costo di un gruppo rotante di continuità a riserva illimitata con potenza di 630 kVA;

Tab. 4 - Analisi dei costi annui dell'investimento gruppo di continuità (lire x 1000)

Gruppo rotante P=630 kVA a riserva illimitata con accumulatore inerziale			
Descrizione	Costo totale	Periodo	Costo annuo
Acquisto macchinario	550 000	12 anni	45 800
Manutenzione preventiva	8 000	1 anno	8 000
Guasto non prevedibile	4 000	80 000 ore	500
Totale dei costi annui			54 300
Interruzione di rete evitata	-12 000	1 000 ore	-108 000
Totale dei risparmi annui per interruzioni di energia		1 anno	-108 000
Risparmio annuo dopo inserimento del gruppo di continuità		1 anno	-53 700

Tab. 5 - Analisi dei costi annui dell'investimento gruppo di continuità (lire x 1000)

Gruppo statico P=100 kVA a riserva limitata a 30 min			
Descrizione	Costo totale	Periodo	Costo annuo
Acquisto macchinario	80 000	7 anni	11 500
Manutenzione preventiva	2 000	1 anno	2 000
Guasto non prevedibile	3 000	20 000 ore	1 400
Totale dei costi annui			14 900
Interruzione di rete evitata	-12 000	2 000 ore	-48 000
Totale dei risparmi annui per interruzioni di energia		1 anno	-48 000
Risparmio annuo dopo inserimento del gruppo di continuità		1 anno	-33 100

Dalle due precedenti tabelle si può dedurre che:

- l'uso del gruppo di continuità con accumulatore inerziale è conveniente nel momento in cui il costo della singola interruzione protetta sia superiore a circa 6 milioni di lire (che si ottiene dividendo il costo annuo di 54 300 000 lire per il numero di interruzioni evitate pari a 9 in questo caso) e la vita operativa della macchina corrisponda a quanto dichiarato dal costruttore;

- l'uso del gruppo di continuità statico con accumulatore è conveniente nel momento in cui il costo della singola interruzione protetta sia superiore a circa 4 milioni di lire (che si ottiene dividendo il costo annuo di 14 900 000 lire per il numero di interruzioni evitate pari a 4 in questo caso) e la vita operativa della macchina corrisponda a quanto dichiarato dal costruttore.

In questo particolare caso il costo della singola interruzione (12 milioni di lire) ed il numero delle interruzioni annue protette (9) ha portato alla decisione di utilizzare un gruppo rotante di continuità a riserva illimitata con accumulatore inerziale, con il vantaggio di avere sotto continuità tutte le utenze, comprese le pompe antincendio. La scelta di un gruppo di continuità statico avrebbe inoltre costretto a mantenere in esercizio il generatore preesistente, appunto per garantire l'alimentazione in emergenza di queste pompe.

CONCLUSIONE

Nella memoria si è illustrato quanto la tecnica, evolvendo nel tempo, ha prodotto nel campo dei gruppi di continuità, che sono stati classificati in due grandi famiglie in funzione del periodo di tempo per cui possono sopperire alle mancanze di energia primaria. Si sono analizzati gli schemi ed i limiti dei gruppi statici ed i vantaggi che le macchine rotanti hanno rispetto a quelle statiche nei limiti economici della convenienza a scegliere un tipo piuttosto che l'altro. Si è constatato che per ottenere un gruppo di continuità con riserva illimitata si deve comunque ricorrere ad elementi rotanti, anche nel caso di una configurazione composta da gruppo statico di continuità più gruppo elettrogeneratore.

L'inserimento di un gruppo di continuità in un impianto elettrico presenta diverse soluzioni tecniche e conseguenti costi economici. Tener presente, fin dall'inizio del progetto, la "*buona elettrotecnica*", cioè le macchine classiche e gli impianti "*a regola d'arte*", pensati e valutati per la loro affidabilità, consente il miglior risultato dell'investimento ed evita successivi inconvenienti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. CORBELLINI, F. TOMMAZZOLLI: "Esigenze dei carichi e scelta degli schemi, del macchinario e degli apparecchi per la rete elettrica negli ospedali" - Corso di aggiornamento su problemi attuali nel progetto degli impianti elettrici di energia; Università di Pavia, 22-25 Giugno 1992
- [2] P. BAIONI, G. FERELLA FALDA, C. FOSSATI, M. CACCIA: "Continuità del servizio: commutazioni automatiche, distacco carichi nei servizi ausiliari delle centrali termoelettriche e negli impianti industriali" - Università di Pavia Corso di aggiornamento 1989; 19-22 Giugno
- [3] L. FELLIN: "Scelta dei gruppi per alimentazioni di emergenza e di continuità" - Università di Pavia Corso di aggiornamento 1989; 19-22 Giugno
- [4] M. DA ROS, S. KUPISIEWICZ: "Gruppi di continuità rotanti integrati con motore endotermico ed accumulatore inerziale" - Corso di aggiornamento su apparecchi, macchine e impianti elettrici; Università di Pavia, 10-13 Giugno 1991
- [5] FIAMM S.p.A.: Catalogo accumulatori al Piombo stazionari e accumulatori al Piombo ermetici.
- [6] NIFE ITALIA S.p.A.: Catalogo accumulatori al Nickel Cadmio
- [7] G. SICILIANO, P. LOMBARDO: "Impiego dei gruppi e dei sistemi di continuità per un centro di telecomunicazioni - problemi connessi" - Convegno AEI, Milano, 30 Marzo 1989
- [8] D. DA ROS: "Invertitore di potenza a tiristori ad onda sinusoidale con stabilizzazione a ferro saturo" - Rendiconti Annuali AEI 1973, memoria B23
- [9] G. BELLATO, M. CACCIA, G. CEUDEK, M. LANTERI: "Progetto della protezione selettiva di una rete industriale di bassa tensione" - Università di Pavia Corso di aggiornamento 1989; 19-22 Giugno
- [10] S. BERNO, B.L. COLOMBO, F. LEONE: "Apparecchiature statiche per la regolazione della potenza reattiva e della tensione (SVS) e per la compensazione delle armoniche" - Università di Pavia Corso di aggiornamento 1989; 19-22 Giugno
- [11] M. CACCIARI, C.F. CHIZZOLINI, M. LOGGINI, G.C. MONTANARI: "Un approccio statistico al problema delle armoniche di tensione e corrente negli impianti elettrici" - Convegno AEI, Milano, 30 Marzo 1989
- [12] L. BIANCO, M. GIORGI, P. VEZZANI: "Macchine rotanti: alternatori, motori asincroni e sincroni" - Università di Pavia Corso di aggiornamento 1989; 19-22 Giugno
- [13] K. SACHS, O. ARTESANI, P. FIORE: "I gruppi rotanti di continuità" - Giornata AEI, Milano, 30 Marzo 1989
- [14] M. SCARPONE: "Sistema di continuità con monoconvertitore statico per la protezione bidirezionale dai disturbi condotti dalla rete verso l'utenza e viceversa" - Convegno AEI, Milano, 30 Marzo 1989
- [15] G. CORBELLINI, U. SCOLA: "Conformità di un gruppo elettrogeneratore alla regola d'arte" - Elettrificazione, Febbraio 1983
- [16] M. CACCIA, P.VEZZANI: "Impianti industriali con richiesta di elevata continuità dell'alimentazione e per impianti con richiesta di elevata disponibilità" - Corso di aggiornamento su apparecchi, macchine e impianti elettrici; Università di Pavia, 10-13 Giugno 1991

- [17] G.CORBELLINI, G. RIVOLI: "L'affidabilità degli impianti di sicurezza e di riserva - Norme giuridiche e tecniche" - I° convegno tecnico "Le caratteristiche degli impianti di sicurezza e di riserva" I.S.P.E.L.S., Roma 25 Marzo 1992
- [18] D. DA ROS, M. DA ROS: "Sistemi di continuità e loro impiego negli ospedali" - Giornate di studio su: "Affidabilità e sicurezza degli impianti elettrici negli ospedali" AEI, Milano, 7 Giugno 1979
- [19] M. DA ROS, G. BACILE: "I gruppi di continuità rotanti negli impianti elettrici: quando, come e perchè utilizzarli" AEI, Palermo, 27-28 Ottobre 1992

Verona, 25-26 Novembre 1993