

La Power Quality e L'ALIMENTAZIONE dei CARICHI CRITICI



L'ENERGIA ELETTRICA, UTILIZZATA IN TUTTI I PROCESSI (DALL'INDUSTRIA AI SERVIZI), INFLUENZA LA QUALITÀ DEI PRODOTTI, LA SICUREZZA DELLE PERSONE E DEGLI IMPIANTI E, IN GENERALE, IL COSTO DELL'INTERO PROCESSO PRODUTTIVO. LA POWER QUALITY DI UNA ALIMENTAZIONE ELETTRICA È RICONDUCEBILE ALLE DUE CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA TENSIONE: QUALITÀ (POWER CONDITIONING) E CONTINUITÀ (POWER CONTINUITY)

L'energia elettrica arriva all'utilizzatore finale tramite un sistema di trasporto composto da trasmissione e distribuzione, che differiscono per la tensione di lavoro e l'interconnessione.

I disturbi elettrici condotti, trasmessi dalle linee di alimentazione e dai collegamenti di segnalazione, possono essere suddivisi (IEEE 1100-1999) in: transitori, interruzioni, buchi di tensione, riduzione della tensione, sovratensioni, distorsione della for-

ma d'onda, fluttuazioni di tensione, variazioni di frequenza.

A questi disturbi va aggiunta la dissimmetria, che pur non essendo un tipo di distorsione della forma d'onda, incide sulla qualità dell'alimentazione.

L'evoluzione dell'impiantistica ha provocato il continuo aumento di carichi particolarmente sensibili ai disturbi, in quanto tutti gli apparecchi utilizzatori lo sono sempre, anche se in misura differenziata.

A titolo puramente esemplificativo riportiamo le apparecchiature maggiormente sensibili:

- apparecchiature IT: in particolare i PLC possono perdere dati dalla RAM e, in alcuni casi, anche dagli hard disk;
- alcuni PLC possono sopportare senza danni buchi di tensione con profondità del 60% e durata fino a 400 m;
- apparecchi elettronici digitali di controllo di processo;

- azionamenti a velocità variabile (elettronica di potenza): sono normalmente sensibili a buchi di tensione di profondità 30% e durata superiore a 60-100 ms;
- lampade a scarica;
- macchine a controllo numerico;
- relè elettromeccanici: possono essere diseccitati da buchi di tensione con profondità 50% e durata >60-100 ms.

Tab. 1 - CLASSIFICAZIONE DEI BUCHI DI TENSIONE

Tensione Residua (%)	10-200 (ms)	200-500 (ms)	0,5 - 1 (s)	1 - 5 (s)	5 - 60 (s)
90 > u ≥ 80	CELLA A1	CELLA A2	CELLA A3	CELLA A4	CELLA A5
80 > u ≥ 70	CELLA B1	CELLA B2	CELLA B3	CELLA B4	CELLA B5
70 > u ≥ 40	CELLA C1	CELLA C2	CELLA C3	CELLA C4	CELLA C5
40 > u ≥ 5	CELLA D1	CELLA D2	CELLA D3	CELLA D4	CELLA D5
5 > u	CELLA X1	CELLA X2	CELLA X3	CELLA X4	CELLA X5

Disturbi legati alla qualità della tensione

Buchi di tensione

I disturbi con maggiore impatto sulle utenze sono riconducibili ai disturbi di tensione e in particolare ai buchi di tensione, che sono statisticamente i più frequenti.

Sono un disturbo bidimensionale caratterizzato dalla profondità (riduzione della tensione tra -10% e -99%) e dalla durata (normalmente inferiore a 1 s). Per tutta la loro durata, il carico non riceve tutta l'energia richiesta, con effetti molto variabili in base all'apparecchio ricevente.

Questi disturbi sono eventi imprevedibili e aleatori con una frequenza variabile in funzione del tipo di alimentazione e dal punto di consegna.

In base alle analisi statistiche (UNIPED) la maggior parte dei buchi di tensione ha una durata inferiore a 1 secondo e

una profondità massima inferiore al 60%. La Norma CEI EN 50160 classifica i buchi di tensione secondo le curve di immunità definite dai livelli di prova per le apparecchiature appartenenti alle classi 2 e 3 (norme CEI EN 61000). Una apparecchiatura è immune ai buchi di tensione caratterizzati da durate e tensioni residue al di sopra delle curve di immunità (celle verdi per la classe 2 e celle gialle + verde per la classe 3, vedere tabella 1).

Disturbi armonici

Le distorsioni armoniche, caratterizzate dal valore di distorsione totale (THD), sono provocate da carichi non lineari e causano il surriscaldamento dei trasformatori, dei conduttori del neutro e dei dispositivi di distribuzione, lo scatto degli interruttori e la perdita di sincronizzazione dei circuiti temporizzati, che dipendono per

l'avviamento da una onda sinusoidale pulita nel punto di attraversamento dello zero. Da valutare la convenienza di installare apparecchiature per il filtraggio delle armoniche.

Dissimetria

La dissimetria è una condizione di squilibrio di tensione, che può creare, specialmente nelle macchine rotanti, dei gravi guasti.

Rifasamento

Anche se non rientrano nei disturbi di tensione, è opportuno valutare la convenienza di installare apparecchiature di rifasamento.

Panoramica dei disturbi legati alla continuità

Le interruzioni, caratterizzate da una completa mancanza della tensione, possono essere convenzionalmente suddivise in:

- microinterruzioni con una durata 1000 o 2000 ms;
- interruzioni brevi con una durata <10-15 s;
- interruzioni lunghe con una durata superiore.

Le cause di questi disturbi sono comunemente riconducibili a guasti sulle linee di alimentazione e alle relative manovre di richiusura automatica, alle variazioni rapide dei carichi, alle forti correnti di spunto e di inserzione di trasformatori.

Nel grafico di figura 1 è sintetizzata, in via esemplificativa, la frequenza dei buchi di tensione e delle interruzioni, da cui si rile-

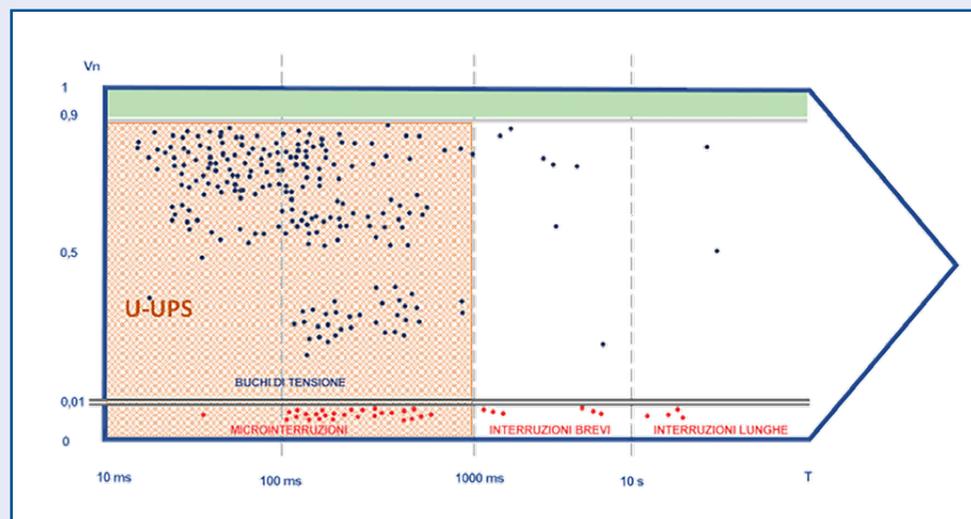


Fig. 1 Distribuzione statistica dei disturbi di tensione in funzione di profondità e durata

va che la grande maggioranza dei disturbi si concentra nell'area tra 10 e i 1000 ms, mentre oltre i 1000 ms i dati statistici indicano che si va verso interruzioni brevi o lunghe, decisamente meno frequenti.

Come migliorare la qualità dell'alimentazione

Non esiste un'unica soluzione per migliorare la qualità dell'alimentazione ma, per ciascun problema, è disponibile una ampia gamma di metodi di attenuazione, che tuttavia devono essere tra loro compatibili, nel caso in cui tipologie diverse di anomalie coesistano in un singolo impianto. La funzione principale di miglioramento della qualità dell'energia elettrica è quindi la compensazione dei disturbi concentrati nell'area tra i 10 e i 1000 ms.

Per focalizzare il problema di come migliorare la qualità dell'alimentazione è opportuno esaminare i due parametri caratteristici della compatibilità elettromagnetica (EMC):

- Livello di compatibilità: valore massimo del disturbo presente nella alimentazione;
- Livello di immunità: valore massimo del disturbo che permette a una ap-

parecchiatura di funzionare regolarmente.

- Il livello di immunità di una apparecchiatura deve sempre essere superiore al livello di compatibilità della rete di alimentazione.

Nell'ambiente elettromagnetico industriale sono previste tre classi di compatibilità:

- Classe 1: copre i carichi sensibili con livelli di compatibilità più bassi delle reti pubbliche di alimentazione;
- Classe 2: ha lo stesso livello di compatibilità delle reti pubbliche.
- Classe 3: si utilizza solo all'interno delle reti industriali con un livello di compatibilità superiore a quello delle reti pubbliche.

Apparecchiature per la mitigazione dei disturbi

UPS statici (S-UPS)

Sono i sistemi più diffusi composti da tre componenti principali:

- Raddrizzatore: converte la tensione alternata in tensione continua,
- Pacchi di batterie: immagazzinano l'energia elettrochimica fornita dal raddrizzatore,

- Convertitore continua/alternata (inverter): preleva energia dal raddrizzatore o dalle batterie, in caso di mancanza di rete elettrica, e alimenta il carico con una tensione sintetizzata.

La tensione generata deve essere filtrata per avvicinarla a una sinusoide utilizzando dei condensatori di potenza, che però riducono l'affidabilità del sistema.

La riserva di energia è ridotta (normalmente 10-15 minuti), essendo basata sulle batterie il cui dimensionamento è limitato dai costi, dagli ingombri e dai problemi di sicurezza. Per compensare le interruzioni superiori all'autonomia propria, è quindi necessario collegarli elettricamente ai GE di emergenza.

Gli UPS statici proteggono il carico dalle interruzioni e dai buchi di tensione, ma non attenuano le armoniche e non sono in grado di rifasare il carico, per cui debbono essere utilizzate apparecchiature specifiche (filtri per l'attenuazione delle armoniche e rifasatori). Nel caso di sovraccarichi o di cortocircuiti, la necessità di limitare la corrente erogabile dall'inverter può comportare seri problemi di selettività del sistema di protezione a valle.

Gli SUPS richiedono l'installazione di numerose apparecchiature accessorie (condizionamento, lampade antideflagranti, ecc.), che complicano l'impianto riducendone l'MTBF e il rendimento complessivo.

Apparecchiature elettroniche di potenza per la compensazione dei disturbi

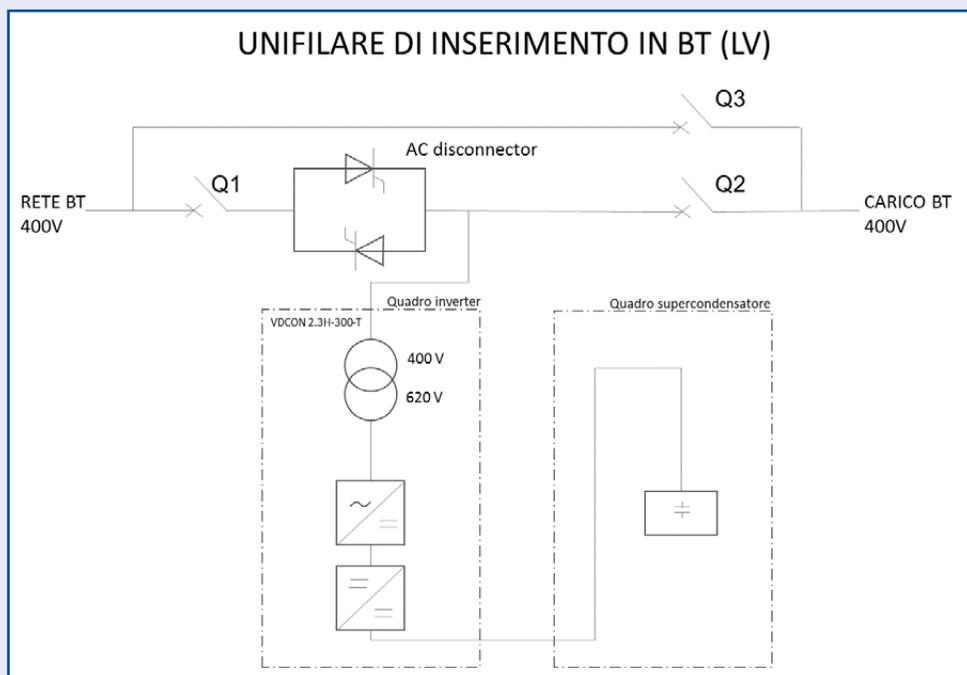
Segnaliamo gli U-UPS, apparecchiature elettroniche di potenza con riserva di energia con supercondensatori. Compensano i buchi di tensione e le microinterruzioni fino a 1 s, valore incrementabile installando un numero superiore di supercondensatori.

Di seguito è illustrata la composizione dei sistemi U-UPS.

Banco di supercondensatori

Combinano la capacità di carica/scarica elettrostatica e elettrochimica e hanno una altissima densità di potenza, ma

Fig. 2 inserimento elettrico di un U-UPS



una relativa bassa densità di energia. Sono ideali per elevate iniezioni di potenza in tempi ultraveloci con una lunga vita attesa (fino a 1.000.000 cicli di carica/scarica).

Convertitore DC/DC

Stabilizza la tensione di alimentazione dell'inverter a un valore prestabilito, in quanto la tensione di uscita dei supercondensatori varia linearmente con il livello di carica. Essendo bidirezionale è utilizzato anche per la ricarica dei supercondensatori.

Inverter bidirezionale

Utilizza IGBT ultraveloci, è sempre sincronizzato con la rete ed è in grado in pochi millisecondi di ripristinare la tensione in ampiezza, frequenza e fase uguale a quella precedente il disturbo. Alimentata anche la ricarica dei supercondensatori.

Sistema di misura e controllo

Analizza in continuo la forma d'onda della tensione e della corrente di rete.

Commutatore statico (AC Disconnect)

Ha il compito di inibire il ritorno in rete della potenza attiva fornita dall'inverter. Lavora a 400 V.

Schema di inserimento di un U-UPS

Lo schema di inserimento di un U-UPS si può visualizzare in figura 2.

Apparecchiature ausiliarie

Sistema di raffreddamento, protezioni elettriche e termiche, sistemi di telecontrollo e diagnostica da remoto.

Normalmente gli U-UPS sono inseriti nell'impianto tramite un quadro da utilizzare solo per scopi manutentivi.

Non rientrano nei sistemi accumulo in quanto i supercondensatori erogano energia solo per qualche secondo (Norma CEI 0-16 variante 2, art 3.76 bis).

Gli U-UPS per uso industriale, disponibili nella gamma 150-3000 kW, sono caratterizzati da elevatissimi rendimenti (>99%) e un basso costo di manutenzione.

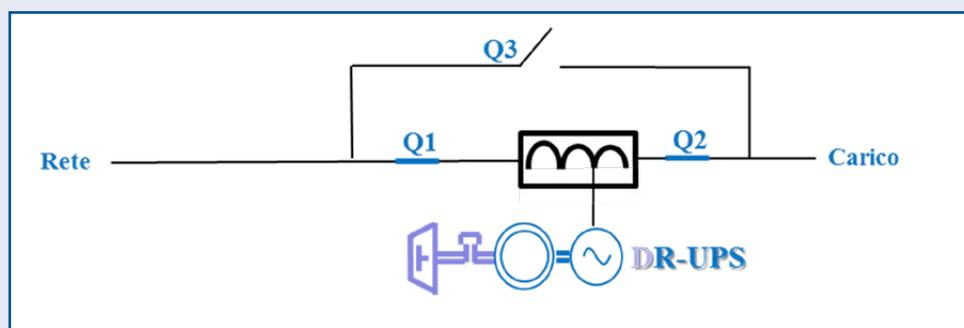


Fig. 3 inserimento elettrico di un DRU

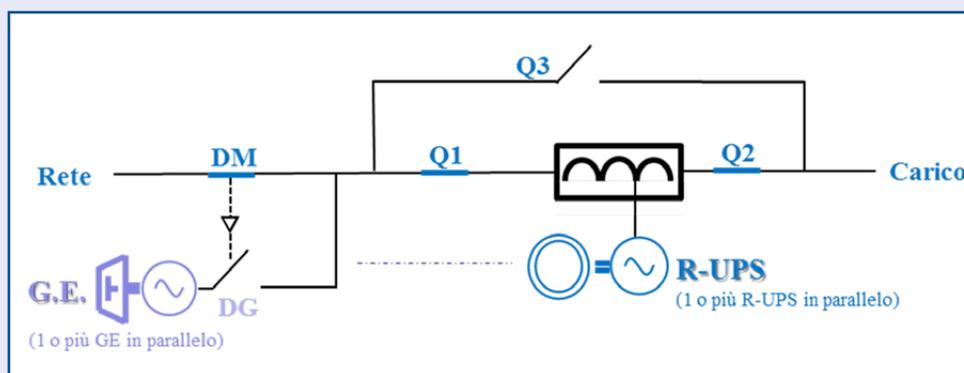


Fig. 4 inserimento elettrico di un ERUPS in BT

Gruppi rotanti di continuità (UPS Dinamici)

Svolgono le funzioni di "Power Conditioning" e di "Power Continuity" e sono definiti dalla ISO 8528-11 (IEC2004.E) come una sorgente specificamente idonea per l'alimentazione di riserva e di sicurezza (CEI 64/8, sezione 710, articolo 710.562.2.1) senza ulteriori apparecchiature.

Si suddividono in:

1) DRUPS

Con motore diesel in asse, che coprono anche le interruzioni di lunga durata (inserimento schematizzato in figura 3), con una ottima gestione dei carichi con elevate correnti di spunto, avendo una migliore efficienza di picco. Sono particolarmente indicati per gestire impianti di elevata potenza.

2) RUPS

in funzionamento "stand alone" compensano solo le interruzioni brevi ($\leq 10-15$ s) ma, accoppiati elettricamente a un GE, coprono anche quelle di lunga durata (figura 4) e vengono definiti "E-RUPS".

La funzionalità degli UPS Dinamici Componenti principali

- Alternatore: fornisce l'energia reattiva al carico durante il funzionamento con rete e lo alimenta durante il funzionamento in emergenza;
- unità cinetica: converte l'energia elettrica in energia cinetica, l'accumula e la cede nel transitorio di caduta rete (frenatura mediante correnti parassite);
- reattore su ferro: disaccoppia elettricamente il carico dalla rete e con la reattanza subtransitoria dell'alternatore forma un filtro a T;
- quadri elettrici di potenza e di controllo;
- motore diesel in asse (DRUPS) o un GE accoppiato elettricamente (E-RUPS).

Fasi di funzionamento alimentazione da rete:

- condizione normale di funzionamento in cui gli UPS dinamici svolgono la funzione di "power conditioning" e di rifasamento del carico;

- transitorio di caduta rete: quando i parametri di rete vanno fuori tolleranza, il gruppo permette di sostenere il carico critico, che viene alimentato dall'alternatore, utilizzando l'energia cinetica immagazzinata durante il funzionamento con rete presente;
- funzionamento in emergenza: viene utilizzato il motore diesel in asse (DRUPS) o il GE connesso elettricamente (E-RUPS);
- rientro rete: il gruppo, dopo verifica dei parametri di rete, si sincronizza automaticamente con la rete e chiude l'interruttore d'ingresso;
- funzionamento in bypass: in caso di fuori servizio del gruppo il sistema chiude automaticamente l'interruttore di bypass senza creare buchi nell'alimentazione ("make before brake").

Valutazione funzionale

Durante il funzionamento da rete gli UPS dinamici rifasano il carico e forniscono una tensione stabilizzata ($\pm 1\%$) e perfettamente sinusoidale. Altri fattori importanti sono la robustezza elettrica (resilienza del sistema in caso di corto circuito), l'impiego in BT e in MT, la grande varietà di configurazioni (parallelo, ridondanza isolata o distribuita ecc.). È possibile gestire potenze elevate in BT utilizzando il parallelo isolato ad anello (IP ring). La vita attesa supera i 25 anni.

La struttura ad asse orizzontale del modulo di potenza favorisce la resistenza alle sollecitazioni sismiche, che può essere aumentata utilizzando supporti antivibranti e antisismici.

L'installazione degli UPS dinamici richiede spazi inferiori e non climatizzati. Possono essere installati in container silenziosi o super silenziosi, risparmiando spazio pregiato all'interno.

Criteri di scelta delle apparecchiature

Problema complesso, ma comunque sempre riconducibile alla valutazione delle funzionalità e affidabilità delle varie soluzioni e ai relativi aspetti economici. In questo articolo verranno esaminate solo

le apparecchiature più significative (UPS statici e dinamici).

Valutazione economica

Un confronto economico può essere fatto solo su casi precisi in quanto i costi di investimento e quelli operativi, variano in funzione dei costruttori. Tuttavia è possibile identificare dei parametri e delle linee guida, che consentano di orientarsi tra le possibili soluzioni. Esaminiamo il TCO (il costo totale di proprietà), che comprende l'investimento iniziale e i costi di esercizio.

Costi dell'investimento iniziale

È fondamentale includere per tutti i componenti d'impianto i costi di acquisto, di installazione e della predisposizione dei locali/aree dove installare l'impianto.

L'installazione è un fattore critico, che influenza nel tempo l'affidabilità delle apparecchiature, ed è quindi importante che venga eseguita a regola d'arte.

Anche il valore dello spazio totale occupato contribuisce al calcolo del costo dell'investimento.

Costi di esercizio (attualizzati)

Costi di manutenzione

Comprendono i costi diretti di manutenzione (ordinaria e straordinaria) di tutte le apparecchiature e quelli di gestione e di coordinamento di più fornitori.

Da aggiungere i costi di sostituzione e di smaltimento (in media 5-7 anni) delle batterie (rifiuti speciali) e dell'UPS stesso, che ha una vita attesa, tenuto anche conto dell'obsolescenza tecnologica, di circa 10-12 anni.

Il costo dello smaltimento delle batterie, dato il loro elevato impatto ambientale, è destinato ad aumentare per l'introduzione di normative ambientali sempre più restrittive. Per mantenere il livello di affidabilità di qualsiasi apparecchiatura, è indispensabile attenersi a un programma di manutenzione adeguato al livello di sicurezza richiesto. Quanto maggiore è il danno provocato da un malfunzionamento, tanto maggiore deve essere l'affidabilità dell'impianto.

Consumi energetici

Il rendimento dichiarato di un UPS Dinamico è omnicomprensivo e non è influenzato da fattori esterni (temperatura di esercizio). I gruppi di nuova generazione permettono di adeguare il funzionamento del sistema al carico effettivo, migliorando ulteriormente il rendimento.

Per gli SUPS il calcolo non è così semplice, in quanto le perdite complessive sono la sommatoria di quelle di tutti i componenti del sistema.

Costi d'interruzione dell'alimentazione

I costi correlati alle interruzioni impreviste variano in funzione del settore di attività e alla loro durata in:

- costi diretti: perdita di produzione, tempo di riavvio, aumento degli sfridi, ecc.;
- costi indiretti: dovuti ai ritardi di produzione o alla perdita di dati.

Risk analysis e analisi multicriterio

Queste analisi dovrebbero essere utilizzate per gli impianti che hanno maggiore valore..

Bibliografia

- 1) Federica Foadelli, Michela Longo and Mariacristina Roscia, "A Power Quality Study on the Italian Electric Grid: Statistical Analysis of the Voltage Dips and Compensation Strategies", Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 7(11), 2014
- 2) Pirjo Heine, Member, IEEE, Pasi Pohjanheimo, Matti Lehtonen, and Erkki Lakervi, Senior Member, "A Method for Estimating the Frequency and Cost of Voltage Sags"
- 3) Qualità dell'alimentazione elettrica negli impianti industriali, ENEL, febbraio 2006
- 4) Norma CEI EN 50160 - Caratteristiche della tensione fornita dalle reti pubbliche di distribuzione dell'energia elettrica.
- 5) Giorgio Corbellini, Umberto Corbellini, "Sicurezza nei luoghi di vita e di lavoro", Convegno AEIT Roma, 2012