

Advel Application Note – AAN2024.1

Moduli Buffer per aumentare il tempo di Hold-Up

Ing. Alessio Spinosi

1. Introduzione

I “buchi di tensione” della tensione VAC sono la riduzione temporanea della tensione nominale al di sotto di una soglia specifica in un punto della linea di alimentazione elettrica (Norma CEI EN 50160). Quindi si tratta di abbassamenti di tensione che, anche se di breve durata, potenzialmente possono creare grossi problemi in ambito industriale. Infatti questi possono causare l'arresto di un impianto (che per motivi di sicurezza può necessitare dell'intervento manuale per ripristinare il funzionamento), il riavvio di un computer o il guasto vero e proprio di apparecchiature. In generale si può verificare la discontinuità di un ciclo produttivo con conseguenti ritardi di produzione ed eventuali penalità causate da inadempienze contrattuali.

I buchi di tensione per definizione hanno una durata compresa tra 10msec e 60sec.

Interruzioni con durata superiore al minuto generano più danni rispetto ai buchi di tensione. Tuttavia questi ultimi sono molto più frequenti oltre che imprevedibili e largamente casuali.

I gruppi di continuità o UPS (Uninterruptible Power Supply) servono a proteggere i dispositivi ad esso collegati non solo dai buchi di tensione ma da veri e propri black-out. Ciò grazie all'energia accumulata all'interno di batterie apposite che possono fornire un'autonomia anche di diverse ore. Il problema degli UPS è... il costo oltre che l'ingombro e la manutenzione richiesta dalle batterie. L'utilizzo degli UPS industriali viene quindi limitato alla protezione di attività particolarmente critiche ma non può essere utilizzato per proteggere tutte le apparecchiature di un sistema industriale.

Esistono comunque degli accorgimenti per proteggere un sistema dai buchi di tensione senza ricorrere agli UPS.

2. Buchi di tensione

La normativa CEI **EN50160** dà un'indicazione approssimativa della numerosità attesa dei buchi di tensione che in un anno può variare da qualche decina fino a un migliaio. Ciò perché si tratta di eventi imprevedibili ed ampiamente aleatori con frequenza annuale notevolmente variabile in funzione del tipo di sistema di alimentazione e del punto di osservazione. Per esempio in aree con

reti deboli come quelle rurali i buchi di tensione sono più frequenti rispetto alla media.

Considerando soltanto i buchi di tensione “profondi” (in cui si ha una riduzione del valore efficace della tensione al di sotto del 60% del valore nominale) secondo un'indagine UNIPEDE, in Europa si hanno i risultati riassunti in Tabella 1.

Ampiezza buco	Durata (ms)			
	10 ÷ 100	100 ÷ 500	500 ÷ 1s	1s ÷ 60s
>40%	26	70	25	14

Tabella1 – Indagine UNIPEDE (durata 3 anni) sulle caratteristiche dei buchi di tensione nelle reti MT europee: è indicata la frequenza annua con probabilità 95% di non essere superata.

Da questo studio si può desumere, relativamente ai buchi di tensione profondi, che circa il 70% ha durata inferiore ai 500msec e circa il 90% ha durata inferiore a 1 sec.

3. Tempo di Hold-Up

Il “tempo di Hold-Up” di un alimentatore definisce per quanto tempo l'alimentatore può mantenere la tensione d'uscita nominale quando viene a mancare la V_{in} . Indica quindi quanto l'alimentatore può sostenere i buchi di tensione della rete.

Le normative europee (**EN60950**, **IEC1000-4-11**) impongono per gli alimentatori con ingresso monofase 115-230Vac un tempo di Hold-Up pari almeno a 20ms, ovvero il tempo di un ciclo della tensione di rete sinusoidale ($1/50\text{Hz} = 20\text{msec}$).

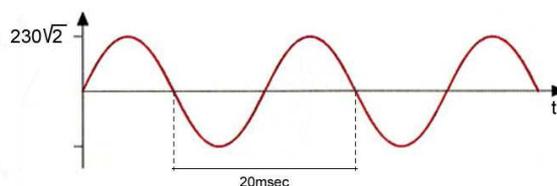


Figura1 – In figura è rappresentato l'andamento sinusoidale della tensione di rete (230Vac) e il tempo minimo di Hold-Up richiesto dalle normative europee.

Naturalmente se il buco di tensione ha durata superiore al tempo di Hold-Up dell'alimentatore questo si spegne.

Gli alimentatori AC/DC che si trovano in commercio tipicamente forniscono un tempo di

Hold-Up pari al minimo richiesto dalle normative cogenti, ovvero 20msec.

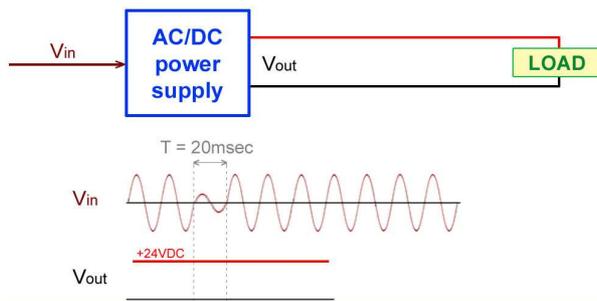


Figura2 – Tutti gli alimentatori AC/DC marcati CE devono poter sostenere un buco di tensione di 20msec.

Gli alimentatori **Advel** come standard forniscono un tempo di Hold-Up tipicamente fino a 100msec a pieno carico, consentendo di proteggersi dal 20% dei buchi di tensione in base ai dati della Tabella 1.

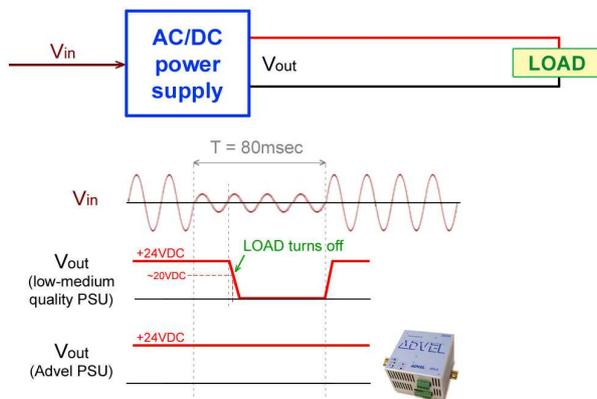


Figura3 – Gli alimentatori AC/DC prodotti da ADVEL possono sostenere buchi di tensione fino a 100msec come standard.

Se tuttavia si intende proteggere un'utenza dalla maggior parte dei buchi di tensione è necessario accrescere il tempo di Hold-Up dell'alimentatore fino a 500msec o 1sec. Questo è possibile utilizzando i cosiddetti **Moduli-Buffer**.

4. I Moduli-Buffer

I Moduli-Buffer vengono installati sull'uscita DC del sistema di cui si vuole accrescere il tempo di tenuta ai buchi di tensione. I Moduli-Buffer utilizzano al loro interno dei condensatori elettrolitici sostanzialmente come se fossero delle batterie. L'energia accumulata verrà utilizzata per generare la tensione DC per un certo tempo detto "tempo di buffering" (T_{buff}). Inoltre i Moduli-Buffer possono essere messi in parallelo al fine di raggiungere il tempo di buffering desiderato per il sistema (vedi Figura4).

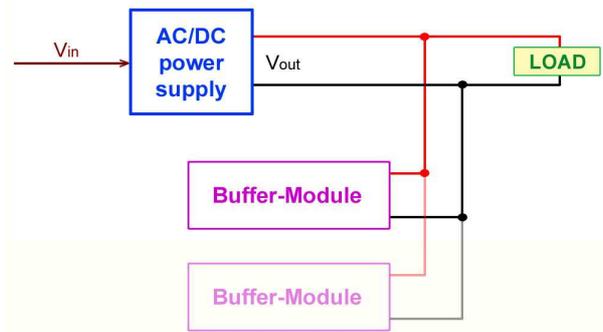


Figura4 – Il Modulo-Buffer va cablo direttamente sull'uscita DC del sistema. È possibile collegare in parallelo più di un dispositivo per accrescere ulteriormente il tempo di buffering.

Inoltre i condensatori elettrolitici interni ai Moduli-Buffer non richiedono manutenzione e possono lavorare a una temperatura ambiente molto superiore a quella consentita delle batterie al piombo (45÷50°C).

5. Funzionamento dei Moduli-Buffer

Ad oggi esistono in commercio Moduli-Buffer per uscita 12VDC e 24VDC con tempi di buffering tipicamente dell'ordine di 250msec@500W. Se utilizzati per potenze inferiori ovviamente forniscono tempi di buffering proporzionalmente superiori (per esempio 500msec@250W).

Consideriamo l'esempio di un sistema AC/DC composto da:

- un alimentatore AC/DC con $T_{Hold-Up} = 20msec$,
- un carico 24VDC da 500W
- un Modulo-Buffer con $T_{buff} = 250msec@500W$.

Se per esempio in ingresso si verifica un buco di tensione di 180msec, accade che:

per i primi 20msec l'alimentatore resta acceso (supportato dall'Hold-Up interno) e la sua uscita resta a 24V, dopodiché si spegne. Oltre i 20msec è il Modulo-Buffer ad alimentare il carico: la V_{out} del Modulo-Buffer è inferiore alla tensione nominale di un valore $\Delta V = 1 \div 2V$. Superato il buco di tensione l'alimentatore si accende nuovamente e fornisce la tensione 24V al carico (Figura5).

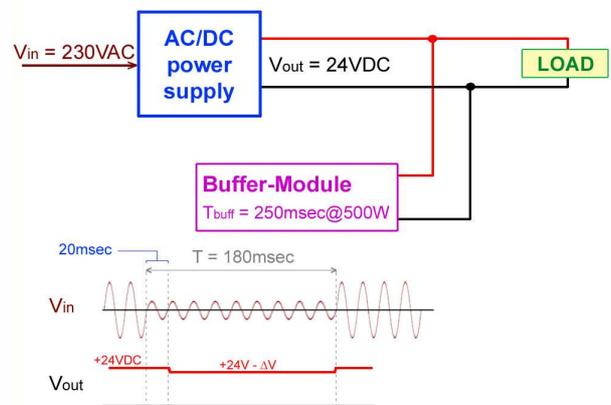


Figura5 – In caso di buco di tensione superiore al $T_{Hold-Up}$ dell'alimentatore, il Modulo-Buffer fornisce tensione al carico.

6. Come è fatto un Modulo-Buffer

Facciamo un esempio qualitativo.

Si consideri un sistema composto da:

- un alimentatore AC/DC con $T_{Hold-Up} = 20msec$,
- un carico 24VDC da 1.2Ω (ovvero circa 500W),
- un "pacco condensatori" sull'uscita $4 \times 10000\mu F$.

Vediamo ora se questo sistema è immune ad un buco di tensione di 180msec.

In questo esempio si è scelto di usare n.4 condensatori elettrolitici da $10000\mu F_{40V}$ perché hanno dimensioni congrue con quelle di un tipico Modulo-Buffer.

È noto che i condensatori hanno una tensione di scarica che decresce esponenzialmente con costante di tempo RC. Nel nostro esempio $RC = 1.2\Omega \times 40000\mu F = 48msec$.

Supponiamo che il carico si spenga al di sotto di 20V (valore tipico). Non è importante in questo esempio qualitativo calcolare il valore preciso del tempo di buffering del sistema ma, osservando la tensione di scarica del pacco condensatori, si intuisce subito che questo non è minimamente adeguato a superare il buco di tensione di 180msec. Infatti la tensione di scarica del pacco condensatori, soprattutto nei primi istanti, scende molto velocemente e quindi raggiunge i 20V in un tempo molto inferiore della costante di tempo, come mostrato in Figura6.

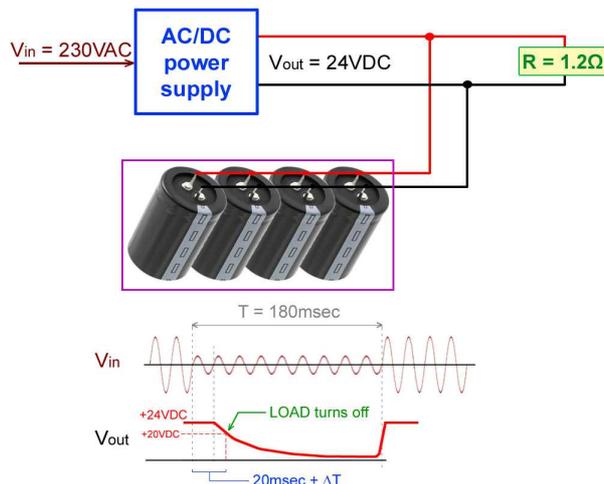


Figura6 – Un semplice "pacco condensatori" non è una soluzione tecnicamente efficiente per realizzare un Modulo-Buffer.

È facile comprendere che un sistema del genere richiederebbe un numero molto elevato di condensatori elettrolitici per sostenere questo buco di tensione.

Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, i Moduli-Buffer non contengono al loro interno unicamente dei condensatori elettrolitici ma sono oggetti molto più complessi.

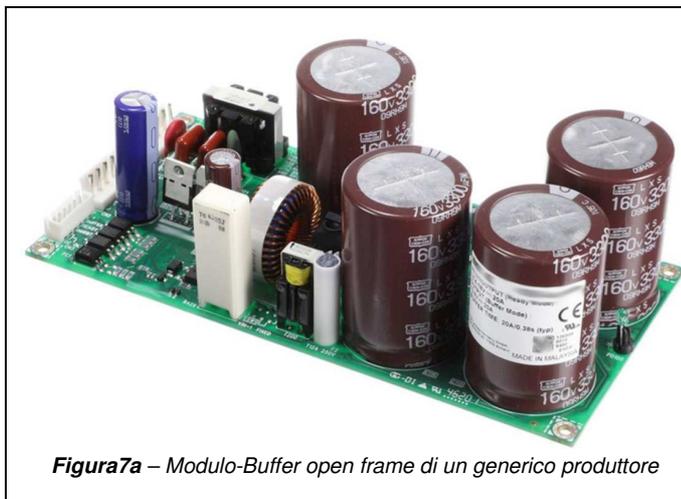


Figura7a – Modulo-Buffer open frame di un generico produttore

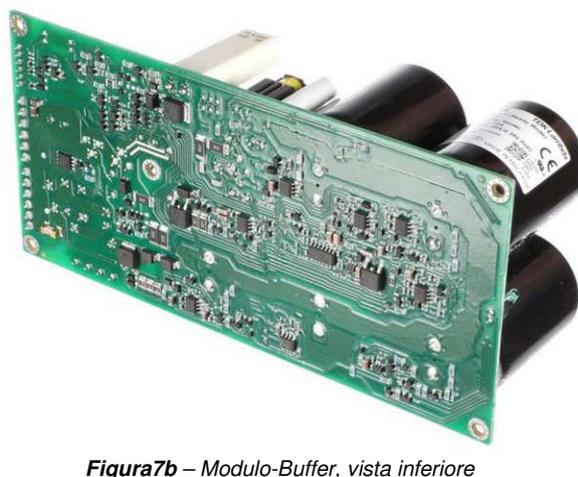


Figura7b – Modulo-Buffer, vista inferiore

In Figura7 è riportato un Modulo-Buffer da 24VDC che si trova attualmente in commercio, e che può erogare 480W per 300msec: si vede bene che questo contiene n.4 condensatori elettrolitici da $3300\mu F_{160V}$.

Da notare che i 4 condensatori elettrolitici $3300\mu F_{160V}$ hanno lo stesso ingombro dei 4 condensatori $10000\mu F_{40V}$ scelti nell'esempio iniziale. Tuttavia questo Modulo-Buffer contiene molti altri componenti infatti si tratta di un vero e proprio converter DC/DC a doppio stadio.

In Figura8 è mostrato lo schema interno semplificato del Modulo-Buffer, contenente i due DC/DC converter:

il primo dei due eleva la tensione a 150VDC, portando i condensatori elettrolitici interni a questa

tensione, mentre il secondo fornisce in uscita una tensione stabilizzata di circa 24V e ha un ingresso wide-range da 10V a 150V.

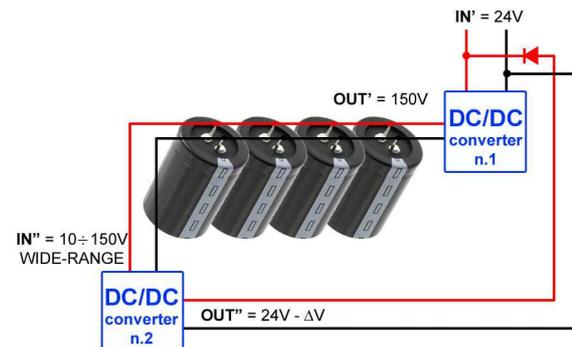


Figura8 – Schema interno semplificato di un Modulo-Buffer.

In pratica i due converter interni sono dei piccoli Flyback. Il primo è di bassa potenza (circa 3W) e serve solo a caricare il pacco-condensatori (in un tempo di circa 30 secondi) per poi tenerlo in carica, mentre il secondo può erogare 480W di potenza ma per soli 300msec (e quindi non necessita di dissipatori né di un grosso trasformatore).

La motivazione di questa doppia conversione è che si utilizza in maniera molto efficace l'energia accumulata nel pacco-condensatori in quanto viene sfruttato quasi del tutto il loro tempo di scarica.

In Figura9 è mostrato l'andamento della tensione del pacco-condensatori interno al Modulo-Buffer, chiamata V_{caps} . Quando l'alimentatore esterno AC/DC si spegne, V_{out} inizia a scendere, ma appena tocca i 22÷23VDC il converter n.2 del Modulo-Buffer tiene la V_{out} a questo valore di tensione e inizia ad erogare corrente al carico, prelevando potenza dal pacco-condensatori che a sua volta inizia a scaricarsi. Il converter n.2 accetta in ingresso un range di tensione molto ampio e quindi rimane acceso fintanto che V_{cap} resta al di sopra di circa 10V.

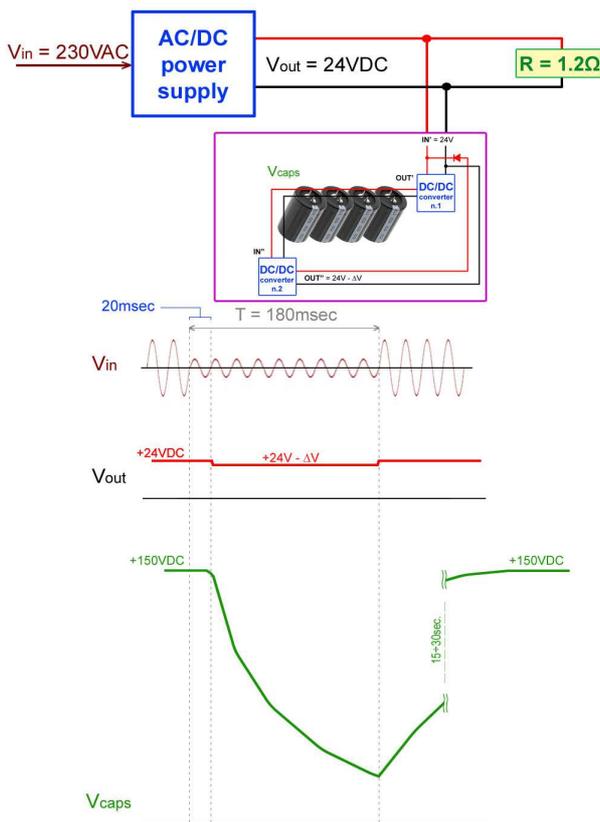


Figura9 – Andamento della tensione del pacco-condensatori interno al Modulo-Buffer.

Sul datasheet del Modulo-Buffer è indicato il $T_{buffering}$, corrispondente al tempo di scarica del pacco-condensatori interno, che ovviamente è funzione della potenza assorbita dal carico.

Una volta che il buco di tensione è passato, l'alimentatore AC/DC si accende nuovamente e fornisce potenza al carico. Nello stesso momento

il converter n.1 del Modulo-Buffer si accende e ricarica il pacco condensatori interno in un tempo di circa 30 secondi. Dopo questo tempo il Modulo-Buffer torna pronto per sostenere un nuovo buco di tensione.

7. Alimentatori ADVEL Hold-Up 750msec

ADVEL non produce Moduli-Buffer esterni, ma produce la serie di alimentatori **SPS-DH**, che hanno un tempo di Hold-Up molto più elevato rispetto alla serie standard **SPS-DX** (100msec) e alla tecnologia concorrente dei Moduli-Buffer. Per esempio, un alimentatore SPS251DH:

- ha una potenza massima continuativa di 250W,
- consente uno spunto di 500W per 5 secondi,
- ha $T_{Hold-Up} = 750msec@250W$.

Ovviamente l'elevato tempo di Hold-Up è ottenuto grazie a un pacco-condensatori interno, che tuttavia non è posizionato in corrispondenza dell'uscita, ma si trova nello stadio di ingresso dell'alimentatore (PFC) in parallelo ai condensatori di Hold-Up standard come mostrato in Figura 10. Visto l'elevato numero di condensatori di Hold-Up, su questi alimentatori è presente un sistema di limitazione della corrente di inrush opportunamente dimensionato.

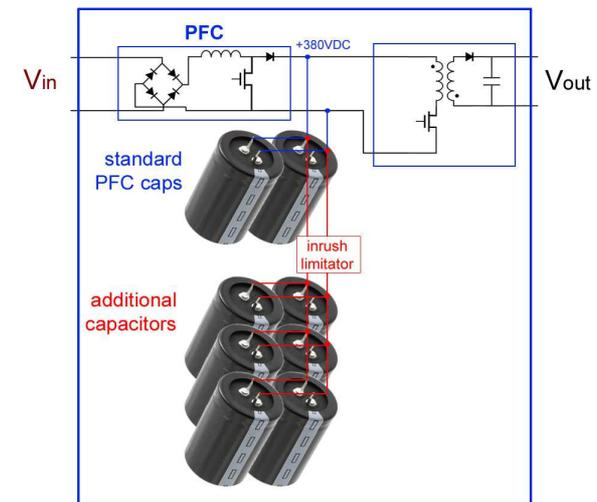


Figura10 – Schema interno semplificato di un alimentatore ADVEL della serie **SPS-DH**.

La scelta tecnica di ADVEL predilige la semplicità circuitale e quindi l'affidabilità del sistema dato che non sono stati aggiunti ulteriori converter, che per ovvi motivi avrebbero inevitabilmente abbassato l'MTBF del sistema.

8. Singolo alimentatore con $T_{Hold-Up}$ elevato Vs Moduli-Buffer esterni

Può essere utile fare un confronto analitico tra due sistemi AC/DC con carico 250W:

- uno formato da alimentatore AC/DC + Modulo-Buffer esterno,
- uno formato da un singolo alimentatore AC/DC della serie Advel **SPS-DH**.

Sistema AC/DC 250W	n.1 power supply AC/DC 250W n.1 Modulo-Buffer	n.1 ADVEL SPS251DH
$T_{\text{Hold-Up}} @250W$	500÷600msec	750msec
$T_{\text{Hold-Up}} @500W$	250÷300msec	375msec
T_{ricarica}	30 sec.	15 sec.
larghezza		
V_{out} durante l'Hold-Up	$V_{\text{nom}} - (1 \div 2V)$	V_{nom}
Uscita 12V	si	si
Uscita 24V	si	si
Uscita 48V	no	si
Uscita 110V	no	si
possibilità parallelo	si (current sharing passivo)	si (current sharing attivo e diodi di parallelo incorporati)

Tabella2 – Confronto delle caratteristiche meccaniche/elettriche di due sistemi AC/DC da 250W: uno realizzato con Buffer-Module esterno e uno realizzato con alimentatore Advel **SPS251DH**

Entrambi i sistemi possono erogare una potenza massima di 250W con picco di 500W per un breve periodo. Nella Tabella2 sono riassunte alcune caratteristiche dei due sistemi. Per il sistema con Modulo-Buffer esterno è stata fatta una sorta di media tra gli alimentatori e i Moduli-Buffer attualmente in commercio di 5 produttori concorrenti.

Il sistema ADVEL ha una larghezza leggermente superiore ma può sopportare buchi di tensione molto più lunghi. Ha inoltre un tempo di ricarica del pacco-condensatori interni molto più breve. Inoltre ADVEL produce anche alimentatori di questa serie dedicati alle tensioni d'uscita 48VDC e 110VDC, mentre ad oggi non possono essere reperiti sul mercato dei Moduli-Buffer per queste tensioni.

L'uscita V_{out} durante il buco di tensione resta al valore nominale con gli alimentatori ADVEL, mentre scende di $1 \div 2V$ sul sistema concorrente con Modulo-Buffer esterno.

Per aumentare il tempo di buffering totale del sistema è possibile mettere più Moduli-Buffer in parallelo. Anche gli alimentatori Advel **SPS-DH** possono essere messi in parallelo, peraltro con la tecnologia di current-sharing **attivo** che consente di ottenere una equa ripartizione della corrente di carico tra gli alimentatori in parallelo.

I Moduli-Buffer esterni possono essere installati su un impianto già esistente, risultando sotto questo aspetto molto versatili.

Riguardo all'affidabilità e alla stabilità dei due sistemi, come già detto, possiamo ritenere che quello con alimentatore ADVEL **SPS-DH** sia da ritenersi superiore, avendo un MTBF di valore più elevato rispetto a quello con un generico Modulo-Buffer esterno. Quest'ultimo infatti è composto da un elevato numero di componenti elettronici interni (di fatto è un converter a doppia conversione) abbattendo di conseguenza il valore di MTBF.

Infine dal punto di vista del costo del sistema si può presumere che sia maggiormente economico quello di ADVEL composto da un unico oggetto. Ciò comporta anche maggior facilità di installazione e costi generali inferiori.

9. Conclusioni

Sono stati messi a confronto due sistemi per la protezione dai buchi di tensione sulla linea AC. Uno con Moduli-Buffer indipendenti da installare lato DC ed uno con alimentatori ADVEL della serie **SPS-DH**. Di entrambi i sistemi sono stati descritti il funzionamento, le particolarità e i vantaggi.



HEADQUARTER: Via Miglioli 13, Segrate 20054 MILANO (Italy)
 Technical DPT: Ing. A. Spinosi, tec@advel.it