

# Studio sull'affidabilità dei condensatori elettrolitici presenti in un microinverter

Martin Fornage, CTO

9/29/2008

## 1 Abstract

Il presente documento fornisce un metodo sistematico per la valutazione della vita utile dei condensatori elettrolitici impiegati nei microinverter Enphase Energy progettati per sistemi fotovoltaici. I risultati confermano che, pur utilizzando un modello conservativo, la vita utile di questi condensatori supera i 50 anni.

## 2 Premessa

I microinverter sono emersi come nuova categoria di inverter fotovoltaici nelle applicazioni collegate alla rete elettrica. Rispetto agli inverter tradizionali, garantiscono maggior energia generata e maggiore affidabilità oltre a semplificare la progettazione e l'installazione del sistema fotovoltaico. Tuttavia, affinché i microinverter possano essere impiegati nelle applicazioni pratiche ed accettati dal mercato, è indispensabile che la loro affidabilità si dimostri superiore a quella dei tradizionali inverter di stringa.

Tra le cause più comuni di guasti ai convertitori di potenza di ogni genere figurano l'assenza di sufficienti margini di progetto nel dimensionamento dei componenti, l'incapacità di resistere a condizioni operative anomale, difetti di produzione o scarso controllo della qualità, guasti casuali e normale usura delle parti. Nell'ambito dell'elettronica di potenza, i condensatori elettrolitici possono essere fonte di guasti o compromettere l'affidabilità dei sistemi. Nel presente documento vengono illustrati i fenomeni di deterioramento dei condensatori elettrolitici nei microinverter e viene dimostrato, mediante criteri di collaudo conservativi, come i condensatori elettrolitici impiegati nei microinverter Enphase Energy "vivono" più a lungo, non compromettendo l'affidabilità dell'intero sistema fotovoltaico.

## 3 La necessità di condensatori

Gli inverter convertono la corrente continua generata da una fonte d'energia in corrente alternata per il normale utilizzo in case, uffici, industrie. I moduli fotovoltaici sono la fonte di corrente continua utilizzata nei sistemi fotovoltaici. Le equazioni riportate di seguito illustrano le modalità di misurazione della potenza del sistema fotovoltaico.

L'equazione della potenza di ingresso è data da:

$$P_{fv} = V_{fv} * I_{fv}$$

dove  $P_{fv}$  è la potenza del sistema fotovoltaico in W,  $V_{fv}$  è la tensione del sistema fotovoltaico in V e  $I_{fv}$  è l'intensità di corrente del sistema fotovoltaico in A.

L'equazione della potenza di uscita è data da:

$$P_{ca}(t) = P_{med} * (1 - \cos(2 \omega t))$$

dove  $\omega$  è la pulsazione di rete e  $P_{med}$  è la potenza media di uscita.



Il microinverter deve generare  $P_{ca}(t)$  e ricevere  $P_{fv}$  in ingresso. Ne consegue un'ampia ondulazione (ripple) nella potenza di uscita. Idealmente  $P_{med}$  dovrebbe equivalere a  $P_{fv}$ , il che significa che l'energia deve essere accumulata e recuperata nel microinverter.

Il condensatore viene impiegato comunemente per l'accumulo dell'energia che deve essere accumulata e recuperata dal microinverter. Generalmente è collocato sul bus del sistema fotovoltaico e deve essere abbastanza ampio da controllare l'ondulazione di tensione all'interno del bus. Altrimenti l'ondulazione sarebbe dannosa per l'accuratezza della funzione MPPT.

Grazie alla bassa resistenza in serie equivalente (ESR) e all'elevata capacità elettrica per volume, i condensatori elettrolitici sono perfettamente adatti al controllo dell'ondulazione.

## 4 Tecnologia condensatore elettrolitico

### 4.1 Vita utile

La vita utile dei condensatori viene espressa in numero di ore di funzionamento a una determinata temperatura, con una determinata tensione di esercizio e una determinata corrente di ripple. Per i convertitori di potenza tradizionali, la vita utile minima accettabile dei condensatori è di 2000 ore a 85 °C.

Per incrementare l'affidabilità dei propri dispositivi, Enphase impiega nei propri microinverter condensatori con una vita utile di 4000-10000 ore a 105 °C. La durata dei condensatori è strettamente legata alla temperatura, infatti la loro vita utile si raddoppia ad ogni diminuzione di temperatura di 10 °C.

### 4.2 Fine vita

Quando i condensatori sono a fine vita, si verifica una riduzione della relativa capacità elettrica e un aumento dell'ESR. Il livello elevato di ESR determina una maggiore dissipazione della potenza nel condensatore, il che favorisce l'aumento della temperatura interna e accelera quindi il processo di invecchiamento.

Generalmente, i condensatori sono predisposti per un determinato numero di ore a una determinata temperatura di esercizio, tensione di esercizio e corrente di ripple.

Se funzionano in queste condizioni, non devono superare i limiti che ne determinano il deterioramento, che in genere sono l'abbassamento del valore del 20% e il raddoppio dell'ESR.

### 4.3 Suggerimenti

Per un elenco delle pubblicazioni più rilevanti sui condensatori elettrolitici, consultare l'[Appendice A](#).

## 5 Stima della durata

### 5.1 Ambiente

In genere, il microinverter viene montato su una struttura di fissaggio che porta i moduli fotovoltaici. La temperatura sotto il modulo è più elevata rispetto alla temperatura ambiente a causa della dissipazione del calore solare da parte dei moduli fotovoltaici. La temperatura interna è superiore alla temperatura sotto il modulo a causa della dissipazione di potenza interna dovuta alla conversione di potenza.

Di seguito viene illustrato un modello di innalzamento della temperatura testato sul campo e valido per tutti i prodotti Enphase Energy.

$$\Delta T = P_{ca} * 0,15$$

dove  $P_{ca}$  è in W e  $\Delta T$  in °C.

In questa equazione, il coefficiente varia in base all'efficienza di conversione del microinverter, alla gestione termica dell'unità e dalle condizioni specifiche di ogni impianto. In questa equazione, il coefficiente è stato calcolato per difetto.

La corrente di ripple nel condensatore è data da:

$$I_{con} = P_{fv} / V_{fv} * \sqrt{2}$$

dove  $I_{con}$  è la corrente di ripple RMS nel condensatore in A,  $P_{fv}$  è la potenza del sistema fotovoltaico in W e  $V_{fv}$  è la tensione del sistema fotovoltaico in V.

Si prega di notare che questa equazione è valida poiché la corrente di ripple ad alta frequenza, indotta da conversione di potenza, rilevata nei condensatori elettrolitici, non è significativa.

## 5.2 Impatto climatico

Se da un lato un'elevata temperatura ambiente all'aperto innalza la temperatura interna del microinverter, dall'altro lato l'efficienza del modulo fotovoltaico diminuisce all'aumentare della temperatura nella cella fotovoltaica. Il presente studio si è avvalso di dati reali inerenti all'irraggiamento e alla temperatura ambiente al fine di valutare le condizioni effettive di funzionamento del condensatore, quali tensione, corrente di ripple e temperatura.

## 5.3 Effetti di un condensatore guasto sul microinverter

Nel microinverter i condensatori elettrolitici sono montati in parallelo, e generalmente in caso di guasto si guastano aperti, di conseguenza il guasto di un condensatore non determina effetti di particolare rilievo sul microinverter. Il principale effetto negativo è la lieve riduzione del rendimento MPPT dovuta all'aumento del ripple della tensione nel bus del sistema fotovoltaico.

## 5.4 Dati sul clima

I dati sul clima e sull'irraggiamento utilizzati per il test sono stati estrapolati dal National Solar Radiation Data Base (NREL), che fornisce le informazioni meteorologiche orarie relative a tutte le località degli Stati Uniti.

[http://rredc.nrel.gov/solar/old\\_data/nsrdb/1991-2005/tmy3/](http://rredc.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb/1991-2005/tmy3/)

Lo studio è stato condotto a Palm Springs, in California, scelta per le temperature medie elevate e per la significativa quantità di irraggiamento, il tutto al fine di assicurare che il test fosse effettuato in condizioni difficili.

## 5.5 Caratteristiche del modulo fotovoltaico

Per questo studio è stato scelto un classico modulo a 72 celle da 205 W STC con una  $V_{mp}$  di 35 V a 25 °C.

La potenza STC è misurata a una temperatura cella di 25 °C e con un irraggiamento di 1000 W/ m<sup>2</sup>.

Il coefficiente di temperatura utilizzato è  $\beta=0,0048/°C$ , in base alle informazioni del fornitore.

Il coefficiente di innalzamento della temperatura cella è  $\delta=0,04 °C/W/m^2$ .

La temperatura cella  $T_c$  è determinata dalla temperatura ambiente  $T_a$  e dall'irraggiamento  $I_r$ :

$$T_c = T_a + \delta * I_r \quad (1)$$

La potenza del sistema fotovoltaico è data da:

$$P_{fv} = P_{stc} \cdot (I_r/1000) \cdot (1 - \beta \cdot (T_c - 25)) \quad (2)$$

$V_{mp}$  varia in base alla temperatura e al coefficiente di temperatura, in genere  $\lambda = 0,0034/^\circ\text{C}$ .

Ne deriva che la tensione del sistema fotovoltaico  $V_{fv}$  è data da:

$$V_{fv} = V_{mp} \cdot (1 - \lambda \cdot (T_c - 25)) \quad (3)$$

## 5.6 La potenza del microinverter

La potenza del microinverter è data da:

$$P_{ca} = P_{fv} \cdot \eta \quad (4)$$

dove  $\eta$  corrisponde al rendimento dell'unità, in questo caso pari al 95%.

## 5.7 Corrente di ripple

La corrente di ripple in un singolo condensatore viene calcolata come segue:

$$I_{con} = P_{fv} / V_{fv} \cdot \sqrt{2} \cdot n \quad (5)$$

dove  $n$  rappresenta il numero di condensatori in parallelo.

## 5.8 Indice di durata

È stato calcolato un indice orario di durata  $\epsilon$ . Questo indice consente di misurare la porzione di vita utile del condensatore già consumata. L'indice orario viene calcolato come segue:

$$\epsilon = \frac{1}{(L_u \times 2^{(T_0 - T)/10})} \quad (6)$$

dove  $L_u$  è il valore della vita utile,  $T_0$  è la temperatura per quel valore e  $T$  è la temperatura effettiva del condensatore.

Il condensatore sarà a fine vita quando:

$$\sum \epsilon = 1$$

Ad esempio, se abbiamo un condensatore con una durata di 10.000 ore a  $105^\circ\text{C}$ , e dopo 1 ora a  $65^\circ\text{C}$   $\epsilon = 6,25E-6$ , ciò significa che a questa temperatura il condensatore avrà una durata di 160.000 ore. Questo calcolo è perfettamente in linea con l'equazione di Arrhenius, utilizzata da tutti i fornitori di condensatori.

## 5.9 Dati annuali

Per simulare le prestazioni nel corso di un anno, i valori di  $P_{fv}$ ,  $V_{fv}$ ,  $I_{con}$  e  $\epsilon$  sono stati calcolati con frequenza oraria utilizzando le equazioni (1) – (6), prendendo in considerazione Palm Springs come sede del test e impiegando il suddetto modulo fotovoltaico e 4 condensatori con una durata prevista di 4000 ore a  $105^\circ\text{C}$ .

Nel corso dell'anno vengono rilevati i seguenti punti estremanti:

	$T_{amb}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$P_{fv}$ (W)	$P_{ca}$ (W)	$T_{con}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$V_{fv}$ (V)	$I_{con}$ (armature)	$\epsilon$
Valori minimi	4	0	0	4	0	0	2,28E-7
Valori massimi	46	166,71	158,38	64,91	37,08	0,99	1,55E-5



$\varepsilon$  viene accumulato per l'intero anno e ne consegue che  
 $\Sigma\varepsilon = 2,02e^{-2}$

I risultati evidenziano che ogni anno viene consumato soltanto il 2% della vita utile del condensatore.

Questo significa che la durata prevista per il condensatore è di **50 anni**.

Si tratta di un'approssimazione per difetto, poiché la vita utile indicata dal fornitore è stata calcolata in base a una determinata corrente di ripple, che è circa 3 volte superiore alla corrente massima presente nel componente utilizzato per il nostro test.

Inoltre, la tensione applicata al condensatore è pari a circa la metà della tensione nominale. Secondo alcuni fornitori, questa condizione raddoppia la qualità della vita utile effettiva del componente, portando la durata prevista per il condensatore a circa **100 anni**.

## 6 Conclusioni

Il presente studio ha dimostrato che i condensatori elettrolitici non rappresentano un punto debole per l'affidabilità dei microinverter. La vita utile stimata va ben oltre i 50 anni, anche quando l'ambiente in cui il microinverter è collocato non offre condizioni ottimali.

## 7 Acronimi

CA	Corrente alternata
MED	Media
CC	Corrente continua
ESR	Resistenza in serie equivalente
MPPT	Inseguitore del punto di massima potenza
FV	Fotovoltaico
STC	Standard Test Conditions

## Appendice A

### Riferimenti

General Descriptions of Aluminum Electrolytic Capacitors (in lingua inglese) -  
<http://nichicon-us.com/english/products/pdf/aluminum.pdf>

Reliability of CDE Aluminum Electrolytic Capacitors (in lingua inglese) -  
<http://www.cde.com/tech/reliability.pdf>

Deriving Life Multipliers for Electrolytic Capacitors (in lingua inglese) -  
<http://www.cde.com/tech/multipliers.pdf>