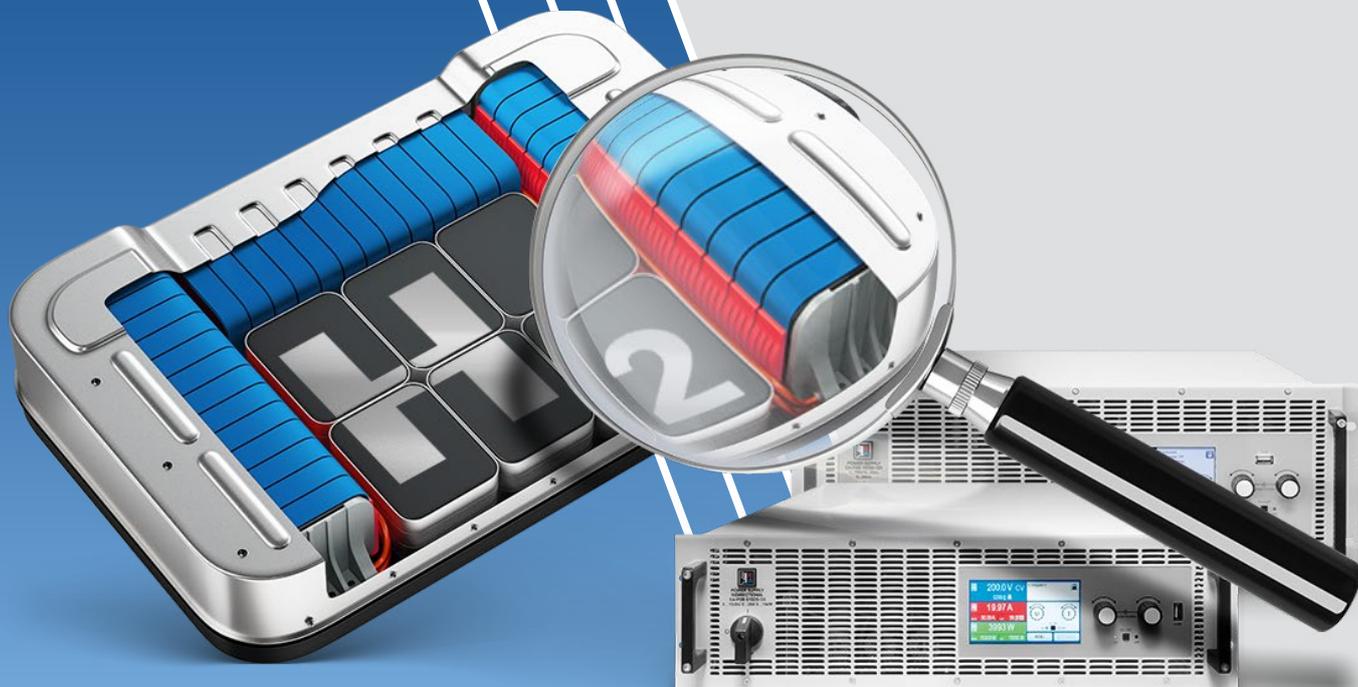




Elektro-Automatik



TESTARE LE CELLE A COMBUSTIBILE IN MODO EFFICIENTE E SEMPLICE

Sostenere i progressi nell'energia
climaticamente neutra



semplificato



conveniente



sostenibile

Test di pile di celle a combustibile

Le celle a combustibile utilizzano l'idrogeno come combustibile, che si combina con l'ossigeno per produrre elettricità. I sottoprodotti del processo elettrico sono calore e acqua. Con zero emissioni di gas serra, anidride carbonica, l'uso di fonti di energia a celle a combustibile contribuisce alla necessaria riduzione di anidride carbonica nell'ambiente. La Figura 1 mostra come funziona una cella a combustibile. L'idrogeno e l'ossigeno formano ioni tramite ossidazione su un anodo

e riduzione su un catodo. L'energia chimica delle reazioni si converte in energia elettrica, poiché gli elettroni possono fluire dall'anodo al catodo attraverso un carico esterno e i protoni fluiscono dall'anodo al catodo attraverso l'elettrolita. I prodotti finali sono acqua e calore e non anidride carbonica. La cella a combustibile illustrata è una cella a combustibile con membrana a scambio protonico (PEM).

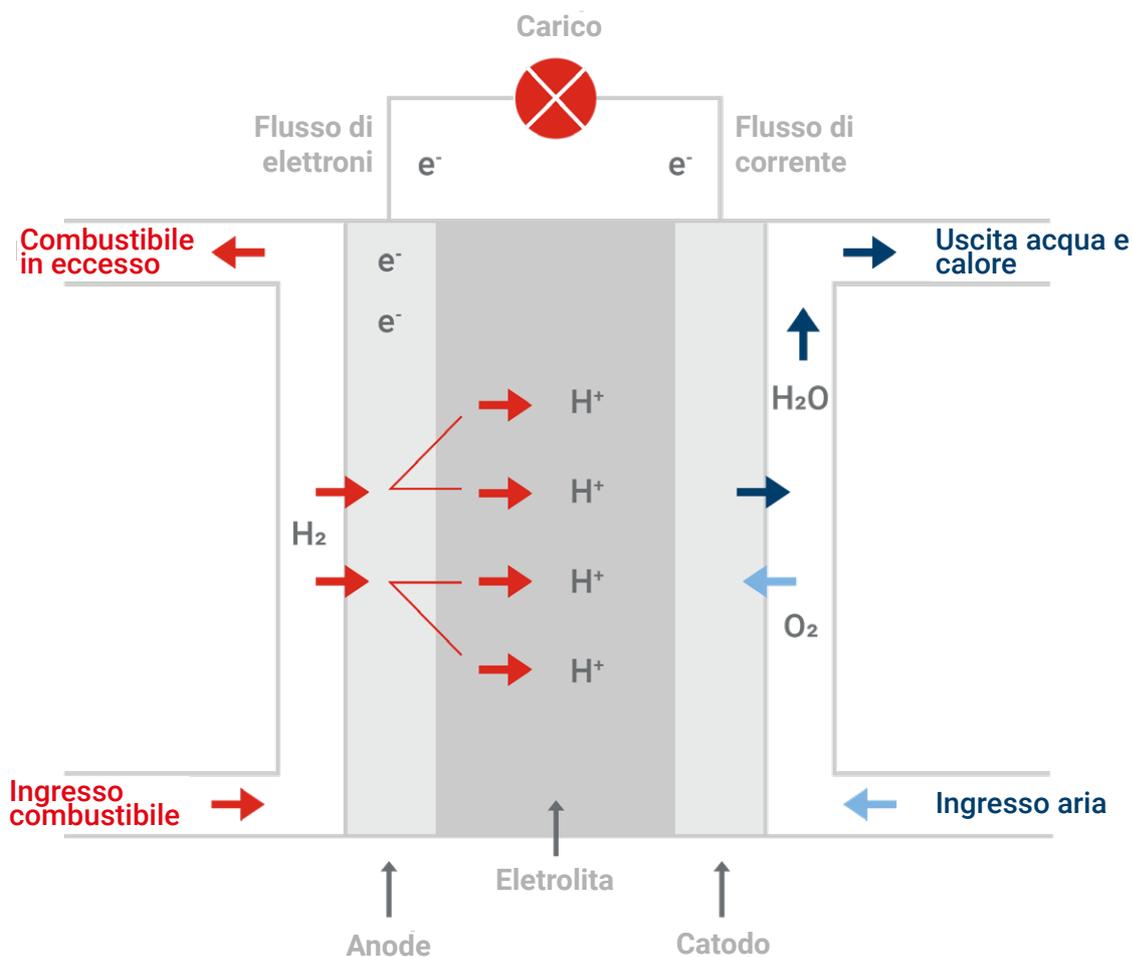


Figura 1
Diagramma funzionale di base di una cella a combustibile a membrana a scambio protonico

Le celle a combustibile* hanno trovato applicazione nei veicoli per la movimentazione di materiali, per le consegne, nei camion a lungo raggio e sono utilizzate come sistemi di alimentazione di backup. Iniziative governative, incentivi economici e nuove applicazioni fanno prevedere un tasso di crescita del mercato superiore al 30%.

Una singola cella a combustibile genera meno di 2 V in uscita, quindi le celle a combustibile pratiche sono gruppi o pile di più celle. Le celle a combustibile possono produrre fino a 125 kW per i veicoli; quelle più grandi, utilizzate per l'alimentazione di backup, possono avere una capacità di 1,5 MW e funzionare a 900 V. Con il miglioramento della tecnologia delle celle a combustibile, i produttori progetteranno pile di celle a combustibile con potenza e voltaggio più elevati.

Misurare la resistenza della cella a combustibile sfruttando una tecnica di perturbazione CA

La Figura 2 mostra un modello di circuito semplificato per una cella a combustibile. Il parametro più importante di una cella a combustibile è il suo componente resistivo. La resistenza dell'elettrolita è il principale fattore di influenza alla resistenza totale della cella a combustibile. La resistenza alla polarizzazione modella la resistenza equivalente di reazione e la capacità del doppio strato modella le interfacce anodo-elettrolita-catodo. Minore è la resistenza totale della cella a combustibile, minore è la sua perdita di potenza e maggiore la sua efficienza. Con una generazione di energia da kW a MW, una resistenza totale eccessivamente elevata può impedire a una pila di celle a combustibile di erogare la loro potenza nominale massima.

Con una capacità di potenza così elevata, testare le pile di celle a combustibile è essenziale per garantirne l'efficienza minima specificata, la sicurezza e la durata operativa necessaria. I carichi elettronici e gli alimentatori bidirezionali di EA Elektro-Automatik hanno un'elevata capacità di ingresso e di uscita per testare le pile di celle a combustibile. I carichi elettronici sono disponibili nei modelli con una capacità di 30 kW e una tensione di uscita di 2000 V. La capacità di corrente può essere di 1000 A. È possibile collegare in parallelo fino a 64 carichi per consentire il test di celle a combustibile con livelli di potenza fino a 1,92 MW. Gli alimentatori bidirezionali per l'alimentazione o l'assorbimento di potenza presentano la medesima gestione di potenza e la stessa capacità dello strumento parallelo.

La difficoltà nel misurare la resistenza della cella a combustibile dipende dal fatto che la sorgente di tensione della cella non può essere isolata dai componenti resistivi, come potrebbe far intendere il modello del circuito. Invece di impiegare una misurazione convenzionale CC della resistenza, la misurazione della resistenza della cella a combustibile richiede una misurazione CA o pseudo CA. In ogni caso, una perturbazione, un ΔI , creata dal carico diventa un ΔV (ΔU) nella cella a combustibile; e la resistenza della cella a combustibile è $R = \Delta V (\Delta U) / \Delta I$.

* "Cella a combustibile" e "pila di celle a combustibile" saranno utilizzate in modo intercambiabile nella nota di applicazione.

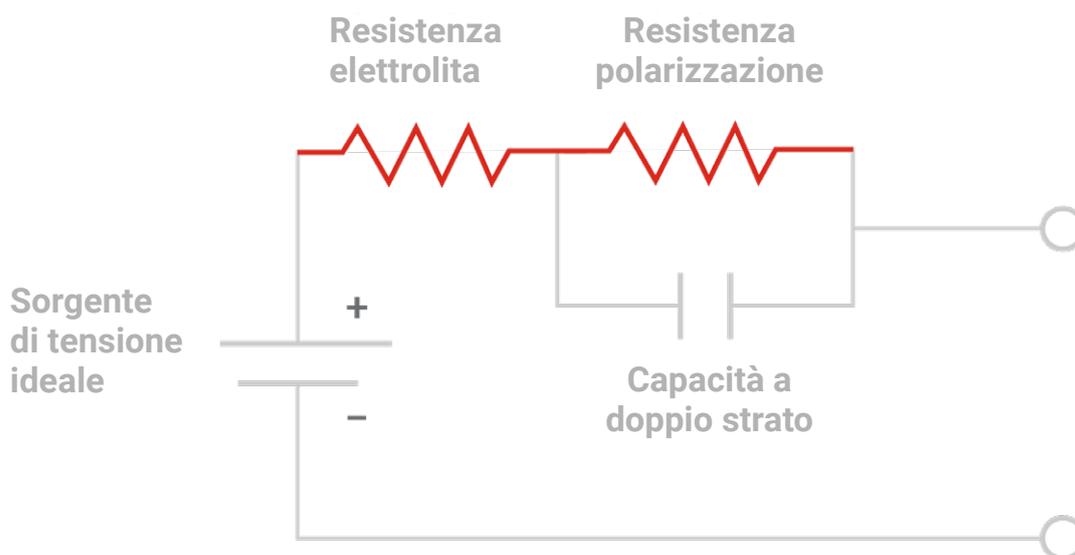
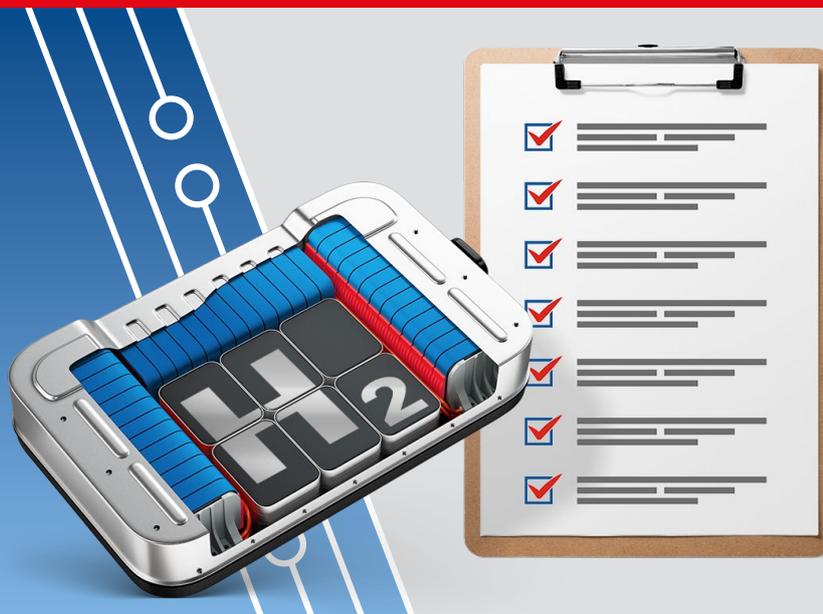


Figura 2
Modello semplificato di una cella a combustibile



La misurazione pseudo CA è nota come metodo di interruzione della corrente. Questo metodo, come annuncia il nome, crea un ΔI commutando istantaneamente la corrente di carico da un valore di stato stazionario a 0 A. La tensione della cella a combustibile sale alla sua tensione a circuito aperto dalla tensione ridotta dal prodotto della corrente di carico e della resistenza della cella a combustibile. La Figura 3 mostra un impulso di tensione derivante dall'interruzione momentanea della corrente. Dato che per questo metodo è richiesto solo un carico elettronico, esso ha lo svantaggio di creare una vasta perturbazione sulla cella. La Figura 3

mostra una tensione ideale per l'illustrazione ma l'induttanza del cavo, $L \cdot di/dt$, crea una sovraoscillazione sui fronti dell'impulso di tensione quando la corrente passa. Questo può rendere difficile ottenere una lettura accurata del picco di tensione. Tenere i cavi di prova tra il carico e la cella a combustibile in prova il meno possibile può ridurre l'effetto di sovraoscillazione. La Figura 4 mostra la configurazione di prova per il test di interruzione di corrente. Il secondo svantaggio di questo metodo è che sovrastima la resistenza della cella a combustibile dal 10 al 20%.

Tensione (V)

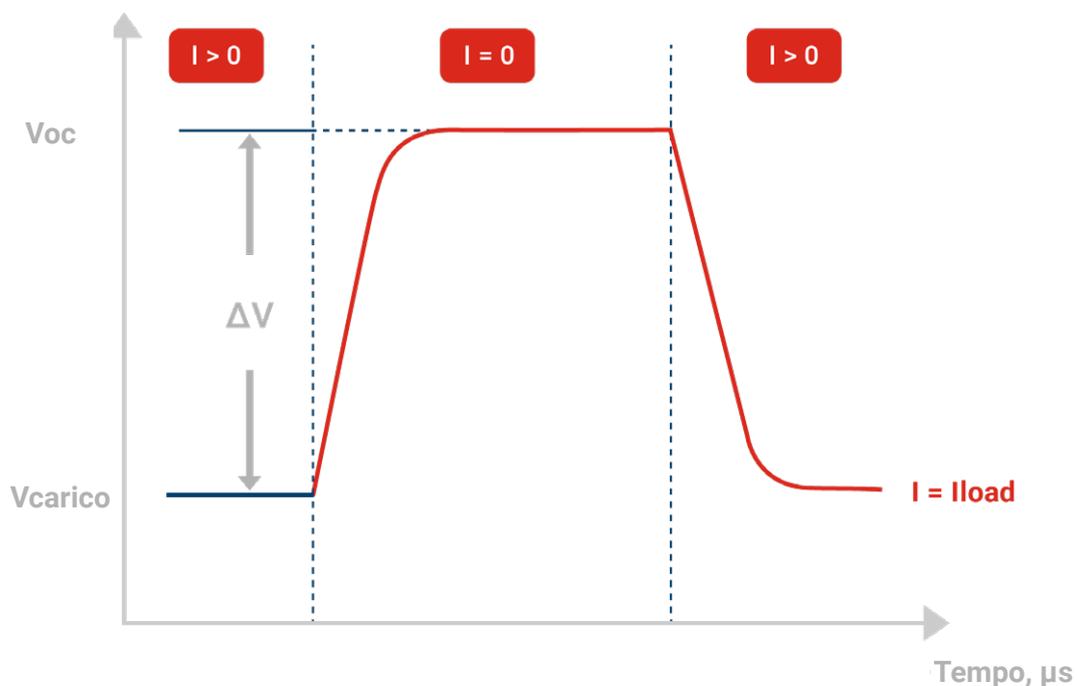


Figura 3

Una risposta ideale della cella a combustibile per un'interruzione della corrente di carico. L'uscita effettiva presenterebbe un'oscillazione (sovraoscillazione) sul fronte di salita e di discesa dell'impulso di tensione dovuto all'induttanza del cavo. La transizione è un effetto CA, in modo che i cavi fungano da linea di trasmissione R-L-C durante la transizione del carico.

**NOTA
1**

Utilizzare il telerilevamento a 4 fili (cablaggio Kelvin) per misurare più accuratamente l'uscita della cella a combustibile ed eliminare la misurazione della caduta di tensione dovuta alla corrente nelle linee sorgente. Il sistema a 2 cavi misurerebbe una tensione più bassa.

**NOTA
2**

Ruotare insieme i conduttori di rilevamento remoto e separarli da quelli sorgente per ridurre l'accoppiamento induttivo del rumore nelle linee di rilevamento.

**NOTA
3**

Tenere i conduttori di prova più corti possibile per ridurre gli effetti di sovraoscillazione della linea di trasmissione quando si verifica una variazione del carico a step.

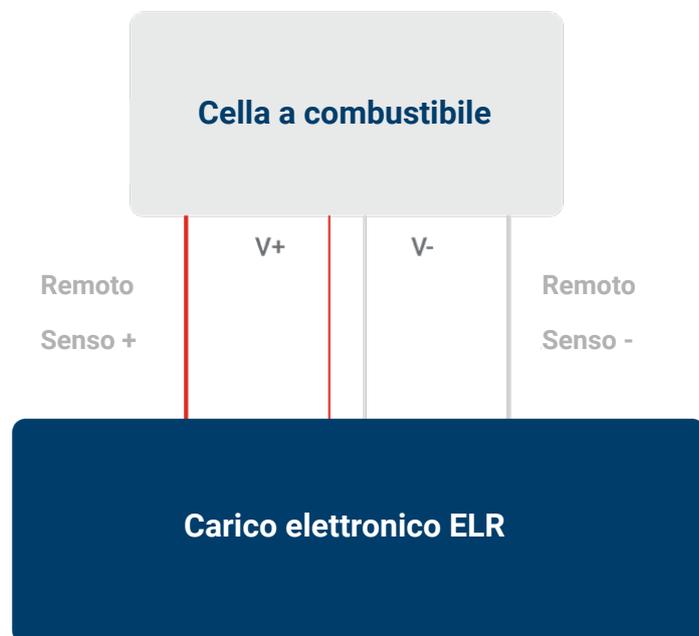


Figura 4
Configurazione di prova per misurare la resistenza della cella a combustibile con il metodo di interruzione della corrente

Il software per il controllo della potenza di EA Elektro-Automatik, che controlla gli alimentatori e i carichi elettronici EA, semplifica il compito di creare l'onda sinusoidale a livello di carico CC. Lo screenshot nella Figura 5 mostra la creazione di un'onda sinusoidale da 1 kHz con ampiezza di 5 Vrms. Non è richiesto nessun codice per il software di controllo della potenza. Se il carico elettronico deve essere integrato in un altro software di controllo, la libreria del carico di comandi dello strumento SCPI consente la comunicazione e il controllo dello strumento. La Tabella 1 elenca i comandi che genererebbero l'onda sinusoidale. I comandi SCPI possono essere codificati come comandi letti e scritti in lingue di programmazione come C e Python.

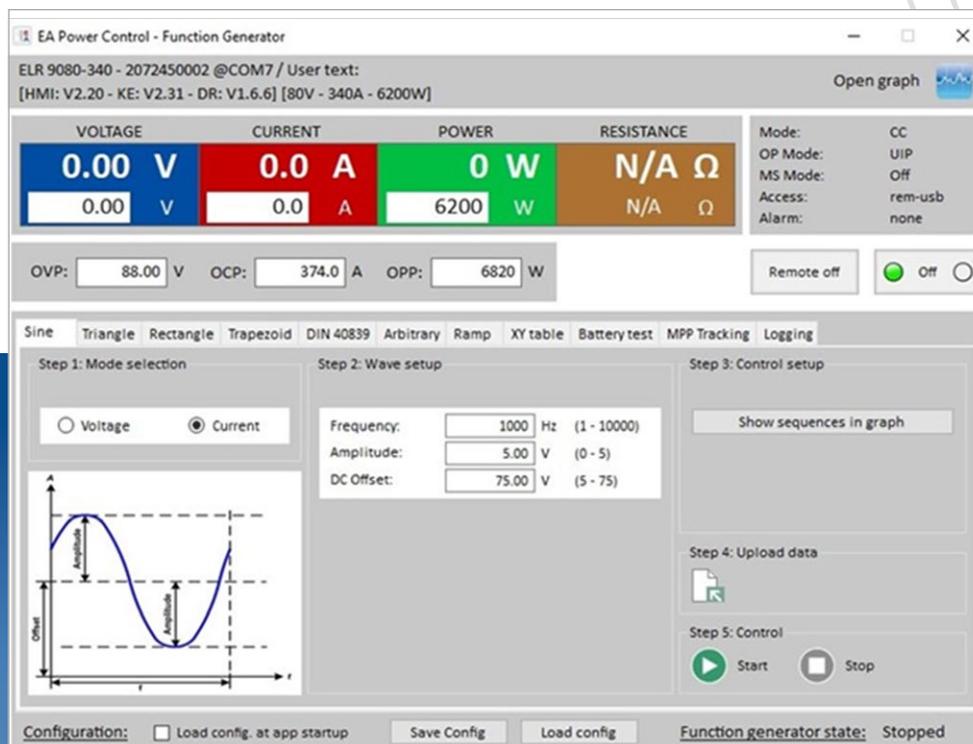


Figura 5
Screenshot del software di controllo della potenza che crea un'onda sinusoidale da 5 V_{RMS} a 1 kHz su un livello di carico di 75 A_{DC}.

Dato che l'apparecchio è già in controllo remoto e l'ingresso o l'uscita CC è disattivato/a, sarebbe necessaria la seguente sequenza di comandi:

FUNC:GEN:SEL CURR	;SELECTS ARBITRARY GENERATOR FOR CURRENT.
FUNC:GEN:WAVE:LEV 1	;SELECTS STEP 1
FUNC:GEN:WAVE:IND 5	;SELECTS BEGINNING AC OFFSET CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 75	;SETS AC OFFSET CURRENT START VALUE OF 75A
FUNC:GEN:WAVE:IND 6	;SELECTS ENDING AC OFFSET CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 75	;SETS ENDING AC OFFSET CURRENT VALUE OF 75A
FUNC:GEN:WAVE:IND 2	;SELECTS BEGINNING AC FREQUENCY
FUNC:GEN:WAVE:DATA 1000	;SETS BEGINNING AC FREQUENCY OF 1KHZ
FUNC:GEN:WAVE:IND 3	;SELECTS ENDING AC FREQUENCY
FUNC:GEN:WAVE:DATA 1000	;SET ENDING AC FREQUENCY TO 1KHZ
FUNC:GEN:WAVE:IND 0	;SELECTS BEGINNING AC AMPLITUDE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 5	;SETS BEGINNING AC AMPLITUDE OF 5A
FUNC:GEN:WAVE:IND 1	;SELECTS ENDING AC AMPLITUDE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 5	;SET ENDING AC AMPLITUDE OF 5A
FUNC:GEN:WAVE:IND 7	;SELECTS DURATION OF STEP IN SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:DATA 10	;SETS DURATION OF STEP TO BE 10 SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:END 1	;SET START SEQUENCE STEP TO 1
FUNC:GEN:WAVE:START 10	;SET END SEQUENCE STEP TO 10

Tabella 1
Codice SCPI per creare l'onda sinusoidale $5 V_{RMS}$ a 1 kHz su uno sfasamento del carico di $75 A_{DC}$

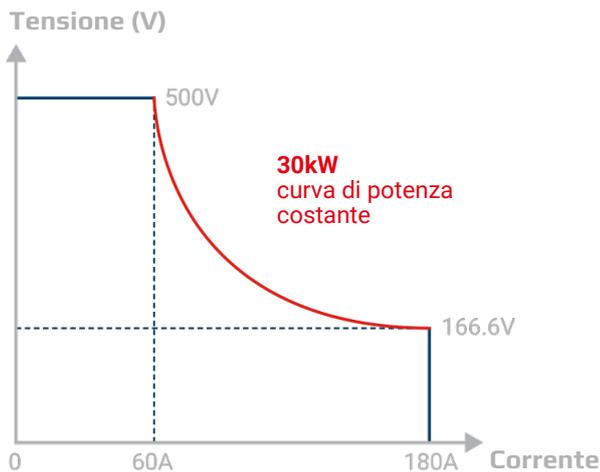


Figura 6
Ingresso con autoranging rispetto ad un carico con range fisso. Si noti quanta maggiore tensione in ingresso e quanta più potenza gestita a più impostazioni di corrente offra un carico di autoranging.

Il test di una pila di celle a combustibile in grado di produrre livelli di potenza nell'ordine di MW richiede una strumentazione ad alta potenza per il test. I modelli di carichi ELR possono assorbire fino a 30 kW e funzionare con tensioni fino a un massimo di 2000 V e correnti di 1000 A. I carichi hanno questa capacità per via del loro ingresso autoranging, mostrato nella Figura 6. L'autoranging consente al carico di assorbire la piena potenza in un intervallo operativo più ampio rispetto ad un carico a intervallo fisso ed evita di dover utilizzare un carico di potenza più elevato per assorbire una tensione o una corrente più elevate. L'autoranging fornisce flessibilità anche nel testare più tipi di celle a combustibile a causa dei più ampi range operativi di tensione e corrente del carico.

Per le ampie pile di celle a combustibile utilizzate nel backup della generazione di potenza, fino a 64 carichi ELR possono essere collegati in parallelo per assorbire fino a 64 kA. I gruppi di carico ELR possono testare qualsiasi pila di celle a combustibile.

Test di prestazione della cella a combustibile

Una volta caratterizzati i parametri di una pila di celle a combustibile, i tecnici sono in grado di quantificare la prestazione d'uscita della cella a combustibile. Per i dati ripetibili, la cella a combustibile dovrebbe trovarsi in un ambiente controllato in cui la temperatura, la pressione, l'umidità e la portata del carburante della cella siano mantenute costanti. L'uscita di tensione è determinata come una funzione della corrente di carico. La corrente di carico inizia senza carico per consentire la misurazione della tensione di circuito aperto. Il carico è aumentato di uno step fisso finché la tensione di uscita della cella a combustibile non scende a circa il 20 % della sua tensione a circuito aperto. Ogni cambio di corrente di carico richiede alla cella a combustibile di ristabilire le condizioni di equilibrio; pertanto, è necessario un ritardo prima di prendere dei dati ad ogni nuovo livello di carico. La Figura 7 mostra un esempio di curva di polarizzazione.

Nella sezione 1 gli effetti elettrocinetici non lineari determinano una caduta di tensione lineare all'aumentare della corrente di carico.

Nella sezione 2 la resistenza ohmica della cella a combustibile domina la caratteristica della cella a combustibile e genera un segmento lineare.

Nella sezione 3 la tensione cala in modo esponenziale quando l'energia viene consumata più rapidamente di quanto le reazioni chimiche di idrogeno e ossigeno riescano a fornire nuova energia.

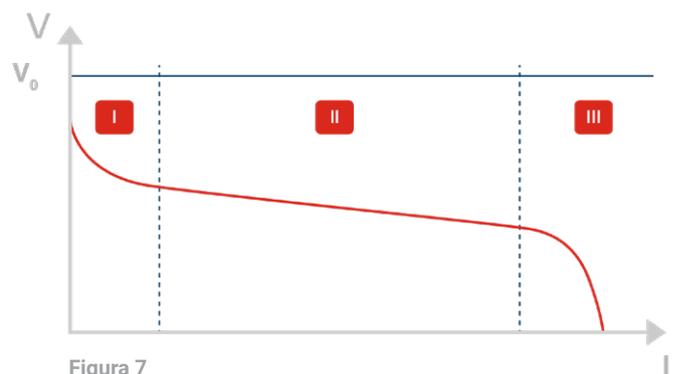


Figura 7
Curva di uscita tensione-corrente della cella a combustibile

I carichi ELR possono creare facilmente una sequenza di passi di corrente di carico utilizzando il software di controllo della potenza o i comandi SCPI.

La Figura 8 mostra il software di controllo della potenza con una configurazione che aumenta la corrente di carico da 0 A a 100 A in step da 10 A. La figura mostra il secondo step della sequenza, in cui la corrente di carico aumenta da 10 A a 20 A. La Tabella 2 mostra i comandi SCPI, che eseguono lo stesso test di carico a step.

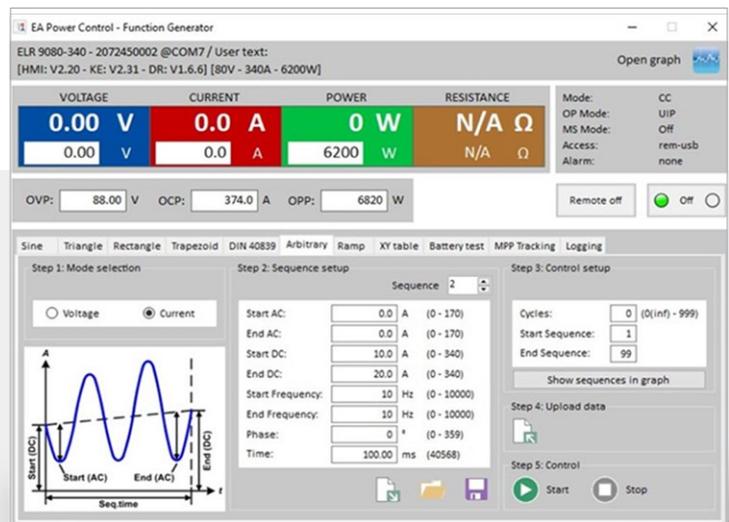


Figura 8
Utilizzare il software di controllo di potenza per creare una sequenza di passi corrente da 0 A a 100 A.

FUNC:GEN:SEL CURR	;SELECTS ARBITRARY GENERATOR FOR CURRENT
.	;STEP ONE SKIPPED TO SHOW STEP 2 ONLY
.	
.	
FUNC:GEN:WAVE:LEV 2	;SELECTS STEP 2
FUNC:GEN:WAVE:IND 5	;SELECTS BEGINNING DC CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 10	;SETS DC CURRENT START VALUE OF 10A
FUNC:GEN:WAVE:IND 6	;SELECTS ENDING DC CURRENT VALUE
FUNC:GEN:WAVE:DATA 20	;SETS ENDING DC CURRENT VALUE OF 20A
FUNC:GEN:WAVE:IND 7	;SELECTS DURATION OF STEP IN SECONDS
FUNC:GEN:WAVE:DATA 10	;SETS DURATION OF STEP TO BE 10 SECONDS
.	;SKIP STEPS 3-10 WHICH INCREMENT UP 10A EACH
.	
.	
FUNC:GEN:WAVE:END 1	;SET START SEQUENCE STEP TO 1
FUNC:GEN:WAVE:START 10	;SET END SEQUENCE STEP TO 10

Tabella 2
Porzione del codice SCPI per creare la sequenza di step da 0 A a 100 A. Step 2 di 10 step illustrato.

Test di durezza della cella a combustibile

Lo step più importante nel test delle celle a combustibile è quello di garantire la loro sicurezza e stabilità. Per le applicazioni nel settore automotive, una pila di celle a combustibile deve presentare una durata operativa di 5.000 ore. I sistemi di alimentazione di backup devono avere una durata operativa di 10.000 ore. I test fattibili richiedono stress test accelerati in cui una pila di celle a combustibile è soggetta a cicli di variazioni del carico a step o rampe di corrente di carico per oltre 100 ore.

La variazione della corrente di carico produce un cambio di tensione della cella a combustibile di circa il 50%. Il periodo della variazione dello step dell'onda quadra e del ciclo di rampa dovrebbe essere di circa 50 s.

Utilizzando il generatore a forma d'onda integrato, il software del controllo di potenza del carico ELR, mostrato nella Figura 9, può configurare un test di rampa con una rampa della durata di 50 s. Codice SCPI equivalente mostrato nella Tabella 3.

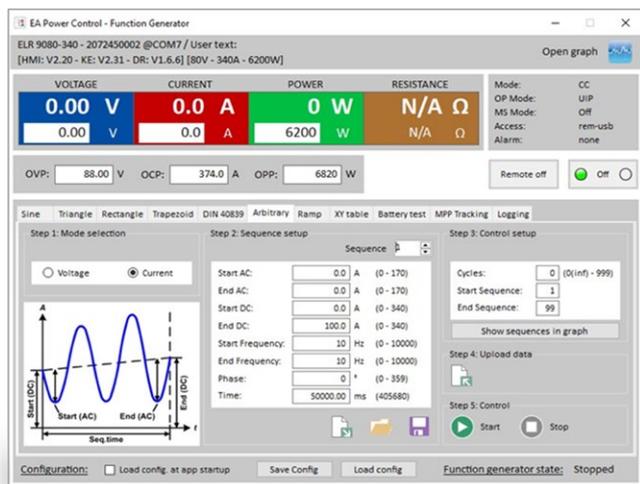


Figura 9
Screenshot del software di controllo della potenza indicante la creazione di una rampa di corrente di carico da 0 A a 100 A con un periodo di 50 s.

Tabella 3
Il codice SCPI che crea una rampa equivalente alla rampa definita in Figura 9.

FUNZ:GEN:SEL CORR	;SELEZIONA IL GENERATORE ARBITRARIO PER LA CORRENTE
FUNZ:GEN:ONDA:LIV 1	;SELEZIONA STEP 1
FUNZ:GEN:ONDA:IND 0	;SELEZIONA VALORE DI CORRENTE CC INIZIALE
FUNZ:GEN:ONDA:DATI 0	;IMPOSTA VALORE DI CORRENTE CC INIZIALE A 0A
FUNZ:GEN:ONDA:IND 6	;SELEZIONA VALORE DI CORRENTE CC FINALE
FUNZ:GEN:ONDA:DATI 100	;IMPOSTA VALORE DI CORRENTE CC A 100A
FUNZ:GEN:ONDA:IND 7	;SELEZIONA DURATA DELLO STEP IN SECONDI
FUNZ:GEN:ONDA:DATI 50	;IMPOSTA DURATA DELLO STEP A 50 SECONDI
FUNZ:GEN:ONDA:FINE 1	;IMPOSTA STEP SEQUENZA DI INIZIO A 1
FUNZ:GEN:ONDA:INIZIO 1	;IMPOSTA STEP SEQUENZA DI FINE A 1

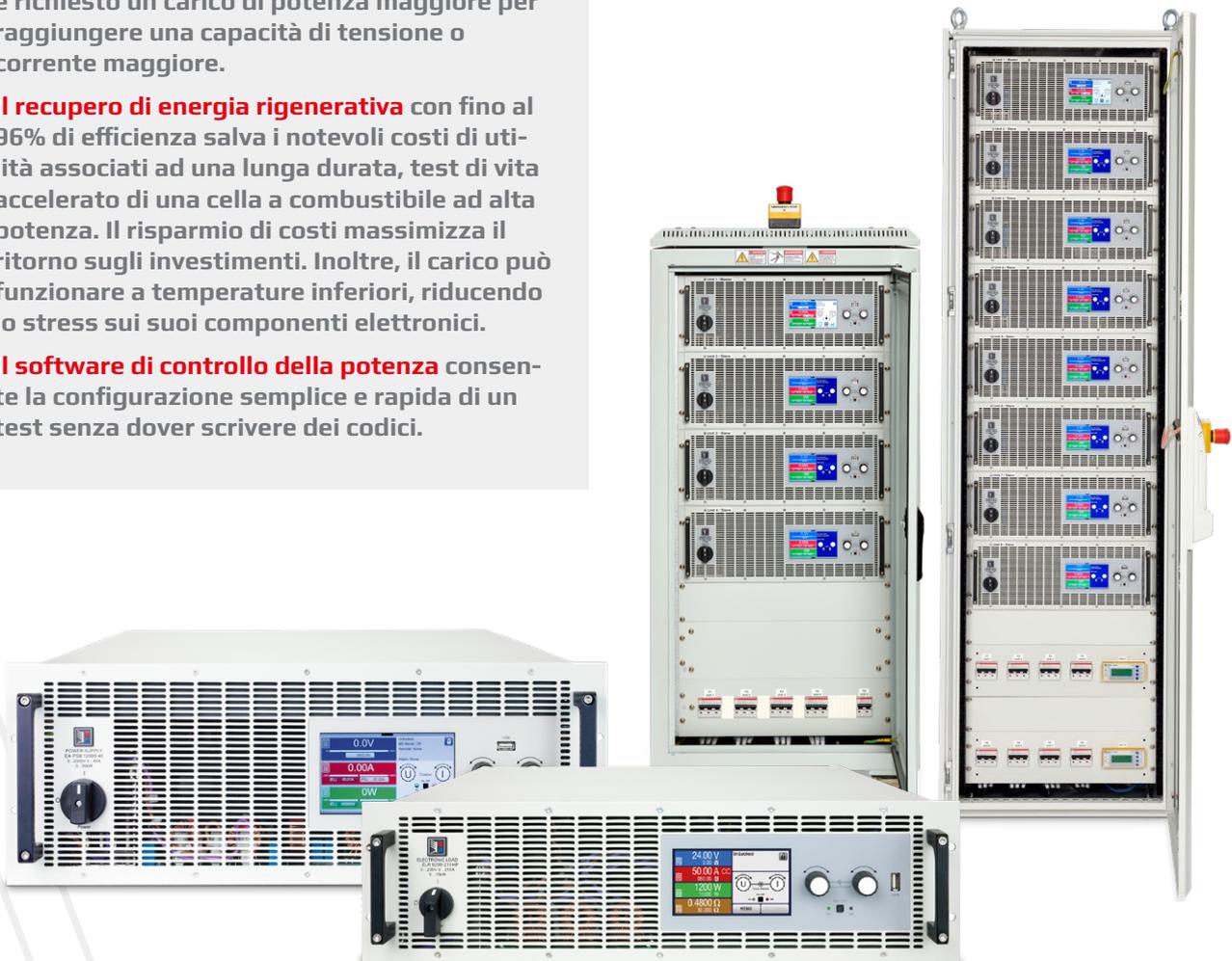
Un test di 100 ore su una pila di celle a combustibile ad alta potenza consuma molta energia. I carichi ELR possono risparmiare una notevole energia durante uno stress test accelerato. I carichi presentano un recupero rigenerativo di energia, che può assorbire energia e restituire l'energia alla rete elettrica con efficienza fino al 96%. Non dover dissipare tutta la potenza consumata consente al carico ELR di funzionare a temperature inferiori rispetto ad un carico elettronico tradizionale. Questi carichi richiedono un investimento minore nell'infrastruttura di raffreddamento. L'uso di un carico ELR fornisce un ritorno sull'investimento con costi di utilità notevolmente ridotti.

Test semplificato ed efficiente della cella a combustibile

I carichi ELR offrono i seguenti benefici per il test della cella a combustibile:

- **Il generatore a forma d'onda integrato** semplifica la configurazione e il test delle celle a combustibile, eliminando la sfida di interfacciare un generatore di forme d'onda a bassa potenza in un circuito ad alta potenza. Con il generatore a forma d'onda, il carico ELR può programmare facilmente le variazioni sinusoidali su una corrente di carico CC per creare le perturbazioni per misurare la resistenza della cella a combustibile. Il generatore a forma d'onda può anche creare onde quadre e rampe per test di prestazioni e durata.
- **La capacità di autoranging** aiuta a ridurre il costo del carico richiesto, poiché i livelli di tensione e corrente più ampi consentono di ottimizzare la capacità di potenza rispetto a quella della cella a combustibile. Spesso non è richiesto un carico di potenza maggiore per raggiungere una capacità di tensione o corrente maggiore.
- **Il recupero di energia rigenerativa** con fino al 96% di efficienza salva i notevoli costi di utilità associati ad una lunga durata, test di vita accelerato di una cella a combustibile ad alta potenza. Il risparmio di costi massimizza il ritorno sugli investimenti. Inoltre, il carico può funzionare a temperature inferiori, riducendo lo stress sui suoi componenti elettronici.
- **Il software di controllo della potenza** consente la configurazione semplice e rapida di un test senza dover scrivere dei codici.

Mentre questa nota di applicazione è focalizzata sul carico ELR come strumento di test primario, gli alimentatori bidirezionali della serie PSB possono fornire la stessa capacità di assorbimento. Come i carichi ELR, gli alimentatori della serie PSB hanno un generatore di forme d'onda integrato, ingresso e uscita con autoranging e recupero di energia rigenerativa. Le forniture PSB possono anche simulare una pila di celle a combustibile, laddove sia necessario testare il carico delle celle a combustibile e la cella a combustibile stessa. Consultare la nota applicativa AN024 per maggiori dettagli sulla simulazione di una cella a combustibile con un'alimentazione bidirezionale PSB. Qualunque sia lo strumento scelto, entrambi garantiscono un test efficiente e semplificato delle celle a combustibile.





SERVIZI PER VOI A LIVELLO GLOBALE.

Alla centrale in Germania nel centro industriale del Nord Reno Vestfalia, più di 300 collaboratori qualificati, in una struttura di 21000 m², ricercano, sviluppano e producono apparecchiature ad alta tecnologia per l'alimentazione di laboratori, adattatori di rete ad alta potenza e carichi elettronici con o senza feedback di potenza. La rete di vendite include sedi in Cina e USA, l'ufficio vendite in Spagna e un'estesa rete di partner.

