

ALLA SCOPERTA DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA PER LA PRODUZIONE DI PIASTRE BIPOLARI METALLICHE

Nel contesto della transizione energetica e dello sviluppo delle celle a combustibile, le piastre bipolari metalliche rappresentano un elemento chiave ma ancora critico in termini di costi e producibilità. L'attività di ricerca del Fraunhofer IPT è focalizzata sull'industrializzazione dei processi di formatura e sulla progettazione di sistemi di produzione ad alte prestazioni, con l'obiettivo di rendere possibile una produzione in serie economica, precisa e scalabile per il futuro mercato dell'idrogeno. **di Johannes Weis, Research assistant di Fraunhofer IPT**

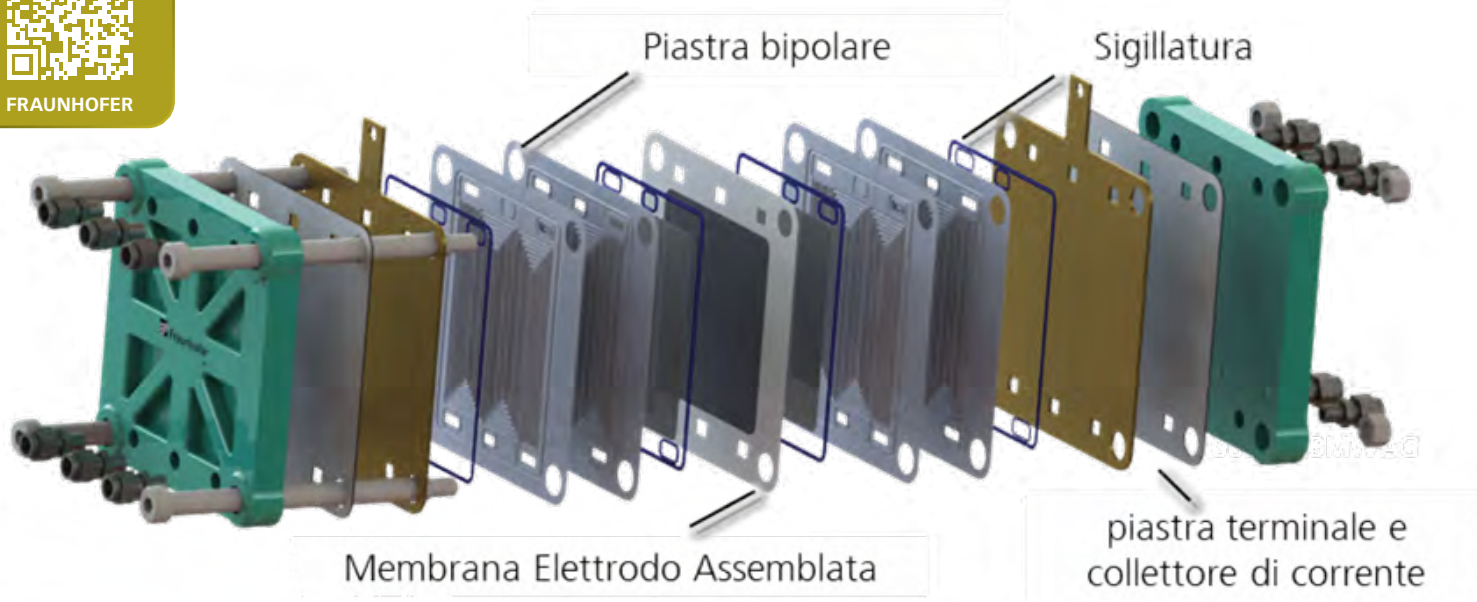


Figura 1: Struttura schematica di una cella a combustibile PEM.

Nel corso della transizione dai combustibili fossili alle fonti energetiche rinnovabili, l'idrogeno è considerato una componente chiave dei sistemi energetici futuri. In alternativa al motore a combustione convenzionale, le celle a combustibile consentono sia una mobilità a basse emissioni che un approvvigionamento energetico indipendente dalla rete. Sebbene la tecnologia sia stata oggetto di intense ricerche per anni,

molti componenti non sono ancora disponibili nelle quantità richieste e a costi economicamente sostenibili. Per un uso industriale diffuso delle celle a combustibile sono quindi necessarie tecnologie di produzione ad alte prestazioni adatte alla produzione in serie. In questo contesto, l'Istituto Fraunhofer per la tecnologia di produzione (IPT) di Aquisgrana sta lavorando allo sviluppo di processi di produzione economici per

le piastre bipolari metalliche, considerate un elemento funzionale centrale delle celle a combustibile. L'attenzione si concentra sull'industrializzazione della produzione di celle a combustibile ed elettrolizzatori. Si stanno studiando processi efficienti, sistemi di produzione integrati e la relativa ingegneria meccanica e impiantistica con l'obiettivo di consentire una produzione in serie economica.

Figura 2: Piastra bipolare per l'uso in una cella a combustibile.



Struttura e funzione di una cella a combustibile

La tecnologia delle celle a combustibile sta assumendo un'importanza sempre maggiore nell'ambito della ristrutturazione dell'approvvigionamento energetico ed è considerata una tecnologia chiave del XXI secolo. Le celle a combustibile vengono prese in considerazione nelle strategie nazionali e nei piani industriali, in particolare nel contesto della decarbonizzazione dei trasporti e dei veicoli commerciali pesanti. Nel 2025, il mercato globale dei veicoli elettrici a celle a combustibile (FCEV) era stimato a 3,09 miliardi di dollari USA e si prevede che raggiungerà un volume di 17,73 miliardi di dollari USA entro il 2034^[1]. Ciò corrisponde a una crescita prevista del 21,4 % tra il 2024 e il 2034. Ad esempio, la roadmap tecnologica della Cina prevede un aumento dagli attuali 10 000 veicoli a celle a combustibile a oltre 5 milioni di veicoli nel 2024^[2].

Lo stack è il cuore della cella a combustibile PEM. È costituito da singole celle collegate elettricamente in serie, per cui le prestazioni complessive del sistema dipendono dal numero di celle, dall'area attiva delle celle e dalla densità di potenza dello stack. Lo stack è costituito da un gran numero di singoli componenti ripetuti. Una singola cella all'interno dello stack è costituita da due piastre bipolari, che rappresentano rispettivamente l'anodo e il catodo, separate da una membrana conduttrice di

ioni. La piastra bipolare garantisce l'alimentazione omogenea di idrogeno e ossigeno alla membrana. La piastra bipolare è anche responsabile del contatto elettrico e della stabilità meccanica. Per garantire un'elevata densità di potenza gravimetrica, le piastre bipolari sono realizzate in lamina metallica con uno spessore compreso tra 50 e 100 μm . A causa dell'ambiente acido all'interno della cella a combustibile, le piastre bipolari sono realizzate principalmente in acciaio inossidabile, tipicamente AISI 316L. La figura 1 mostra una struttura schematica di una cella a combustibile PEM.

Le piastre bipolari non solo hanno un'influenza determinante sulle prestazioni e sulla durata delle celle a combustibile, ma rappresentano anche fino all'80% del peso totale e circa il 22% dei costi di produzione, a seconda del design del sistema^[3]. Per gli stack di celle a combustibile avanzati utilizzati in applicazioni automobilistiche, stazionarie e mobili, è essenziale una produzione in serie di alta qualità e precisione delle piastre bipolari metalliche. Una cella a combustibile per applicazioni automobilistiche ha fino a 400 piastre bipolari con una dimensione di 70.000 mm^2 . Ciò pone le tecnologie di lavorazione della lamiera, come la formatura, lo stampaggio, la punzonatura e i processi roll-to-roll, al centro dello sviluppo industriale, creando nuove opportunità e sfide per le aziende di lavorazione della lamiera.

Catena di processo per la produzione di piastre bipolari

La produzione di piastre bipolari in grandi quantità rappresenta una sfida considerevole, in particolare per l'industria della lavorazione della lamiera.

La catena di processo comprende le seguenti fasi di produzione: formatura mediante un processo di stampaggio, separazione delle semipiastre mediante taglio a cesoia o taglio laser, unione delle semipiastre per formare una piastra bipolare completa, applicazione della guarnizione, controllo qualità e prova di tenuta, nonché applicazione di un rivestimento per ottimizzare ulteriormente la conduttività elettrica e la resistenza alla corrosione^[4].

Presso il Fraunhofer IPT, i processi di produzione della piastra bipolare vengono sviluppati, analizzati e ottimizzati in termini di ingegneria dei sistemi e tecnologia di processo. A tal fine, vengono determinati i requisiti dei processi e delle macchine speciali e vengono costruiti prototipi di questi sistemi.

Formatura efficiente nello stampo progressivo

Il Fraunhofer IPT sta studiando la formatura di piastre bipolari in stampi progressivi per ottenere velocità di corsa più elevate e migliorare il processo attraverso la funzionalizzazione degli utensili. La sfida consiste nell'aumentare il numero di corse al minuto mantenendo un'elevata qualità di formatura. A tal fine, vengono determinate le variabili che influenzano il processo di formatura e identificati i possibili fattori di disturbo. La figura 2 mostra una piastra bipolare metallica, progettata dal Fraunhofer IPT in collaborazione con partner industriali, e la sua sezione trasversale caratteristica dei canali di flusso.

I requisiti di tolleranza per i canali di flusso sono compresi nell'intervallo $\pm 5 \mu\text{m}$ con elevata ripetibilità, poiché anche piccole deviazioni possono influire sulle prestazioni dello stack^[5]. Per una distribuzione uniforme del gas è necessario un rapporto elevato tra profondità e larghezza dei canali, che consente di ottenere un grado di formatura elevato, ottenibile solo con forze di formatura elevate^[6]. Inoltre, durante la formatura profonda delle piastre bipolari,

ampie aree della lamiera sono a contatto con lo stampo e devono essere formate contro la forza di attrito^[7].

Il Fraunhofer IPT dispone di una propria linea di presse servoassistite con una pressa servoassistita per la formatura industriale di piastre bipolari nello stampo progressivo, come mostrato nella figura 3. Ciò consente di realizzare progetti di ricerca mirati con clienti industriali. Per studiare la formatura delle piastre bipolari in relazione all'influenza della pressa, il Fraunhofer IPT,

sivo è stato dotato di sensori per misurare le forze di processo e l'inclinazione dello stampo durante il processo. Il motivo è l'elevata rigidità della serie AIDA BEX, sviluppata per operazioni di formatura ad alta precisione grazie alla sua speciale cinematica con un solo punto di pressione al centro sopra il pistone della pressa. Per il test dello strumento è stato effettuato uno studio dei parametri variando la regolazione della slitta, il movimento della slitta e la velocità di corsa. Le piastre bipolari prodotte

condi al punto morto inferiore. La figura 4 mostra l'utensile progressivo utilizzato presso AIDA.

Sviluppo di nuovi concetti di macchine

Oltre a collaborare con partner industriali, il Fraunhofer IPT sta sviluppando nuove macchine per la produzione efficiente di piastre bipolari. Per rispondere alle sfide poste dai tonnellaggi più elevati e dalla deflessione della pressa nella formatura delle piastre bipolari, il Fraunhofer IPT sta attualmente svilup-



Figura 3: Linea di presse servoassistite presso il Fraunhofer IPT per prove orientate all'industria dei processi di lavorazione della lamiera.

in collaborazione con AIDA Europe, ha effettuato un test sugli utensili su una serie di presse appositamente sviluppate per le piastre bipolari. A tal fine, il Fraunhofer IPT ha sviluppato e costruito uno stampo progressivo multistadio e lo ha testato sulla pressa AIDA BEX 1600 presso AIDA a Pavone Mella (BS). Lo scopo del test sugli utensili era quello di studiare l'influenza della pressa di formatura e dell'utensile sulla qualità della formatura. A tal fine, lo stampo progres-

sivo sono state poi misurate presso il Fraunhofer IPT e analizzate in termini di qualità. I risultati dimostrano che il sistema di pressatura ha un'influenza significativa sulla qualità geometrica della piastra bipolare; a parità di condizioni al contorno, è stato possibile formare canali più profondi di circa il 20% rispetto a una punzonatrice automatica convenzionale. Inoltre, la precisione geometrica dei canali di flusso è stata migliorata grazie a un tempo di mantenimento di 0,1 se-

condo l'innovativo concetto di pressa "MatriXpress". L'obiettivo è una macchina di formatura compatta con una forza di pressatura di 8.000 kN e una frequenza di 60 colpi al minuto, con uno spazio di installazione di 3x3 m e un'altezza di 1,8 m. Per generare una forza elevata in uno spazio di installazione ridotto, è stata sviluppata una nuova cinematica con cunei guidati su cuscinetti lineari. Un altro vantaggio è l'azionamento modulare, che consente di scalare l'a-

Riferimenti bibliografici:

[1]Towards Automotive, "Fuel Cell Electric Vehicle Market Trends 2025," 2025. [Online]. Available: <https://www.towardsautomotive.com>

[2]Wen, H. et al.: A Framework of Policy-technology Roadmap of Disruptive Technology: A Case of New Energy Vehicle Industry in China, Science & Technology Progress and Policy, 2024.

[3]Porstmann, S. et al.: A comprehensive comparison of state-of-the-art manufacturing methods for fuel cell bipolar plates including anticipated future industry trends, Journal of Manufacturing Processes, 2020.

[4]Kampker A. et al.: Elektromobilität, Berlin/ Heidelberg, 2024.

[5]Xu Z. et al.: Towards mass applications: A review on the challenges and developments in metallic bipolar plates for PEMFC, Progress in Natural Science: Materials International, 2020.

[6]Narasimharaju S.J. et al.: Advances in materials and surface engineering for fuel cell bipolar plates: Materials, coatings, Energy Reports, 2025.

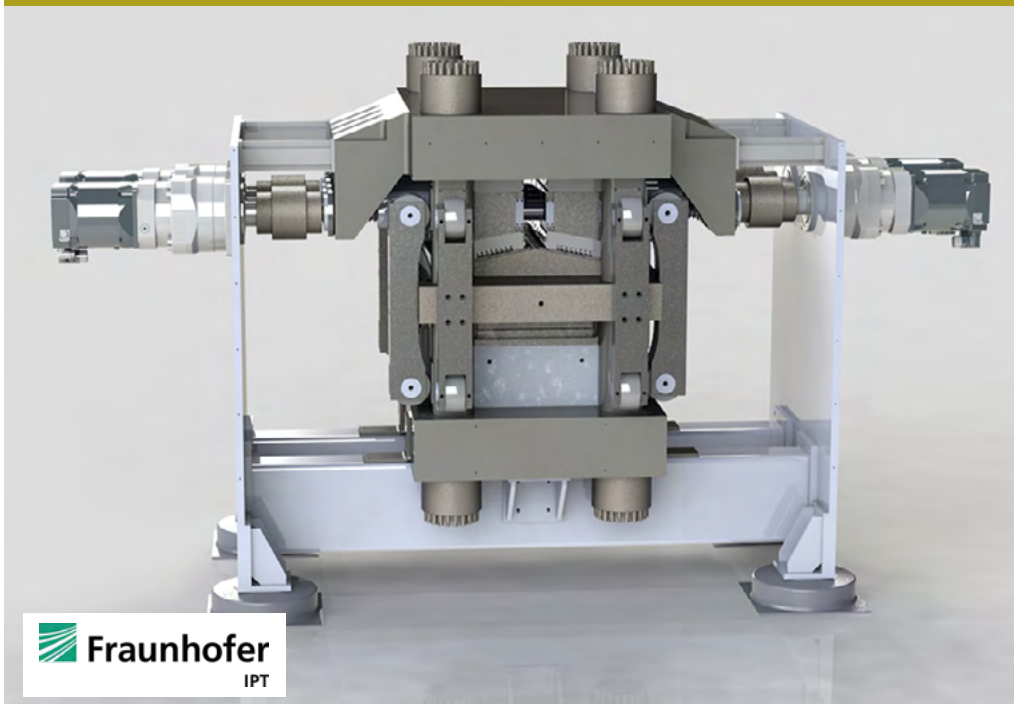
[7]Fraunhofer: Efficient manufacturing techniques for bipolar plates: Advances in fuel cell production, Press release, 2025.



Figura 4: Stampo progressivo per la formatura di piastre bipolari sulla AIDA BEX 16000 a Pavone Mella (BS).

 **Fraunhofer**
IPT

Figura 5: Rendering CAD del prototipo MatriXpress.



zionamento in modo flessibile. La figura 5 mostra un rendering CAD del prototipo. Entro l'estate 2026 verrà costruito e testato un prototipo della "MatriXpress" presso il Fraunhofer IPT di Aquisgrana, e il Fraunhofer IPT prevede di commercializzare rapidamente la tecnologia con i produttori di componenti e presse.

Il Fraunhofer IPT sta promuovendo l'industrializzazione della tecnologia delle celle a combustibile sviluppando tecnologie di produzione ad alte prestazioni per piastre bipolari metalliche adatte alla produzione in serie. Con una ricerca orientata all'industria sui processi di formatura, strumenti all'avanguardia e concetti innovativi di pressatura come il "MatriXpress", l'istituto sta gettando le basi per una produzione in serie economica e scalabile. Ciò posiziona il Fraunhofer IPT come partner chiave per l'innovazione nell'industria della formatura e della produzione nel futuro mercato dell'idrogeno.