

Capitolato d'appalto per la

“Fornitura e posa in opera di una fuel-cell prototipale modulare, secondo logica lego-like, da (1+1) kW con membrana a scambio protonico di ultima generazione ad alta pressione di ossigeno”

Fondi : Scalability Grant “HYMOBITALY” - progetto PNRR, Missione 4 Componente 2 Investimento 1.4 “Potenziamento strutture di ricerca e creazione di "campioni nazionali di R&S" su alcune Key Enabling Technologies” finanziato dall’Unione europea – NextGenerationEU” (Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile – CNMS - MOST). CUP: D93C22000410001

VALORE DEL PROGETTO DA METTERE A BANDO: 135.000,00€ (centotrentacinquemila/00 euro) comprensivo di IVA.

RIFERIMENTO AL PROGETTO: “Hydrogen Mobility Made in Italy: High H₂/O₂ Back Pressure Stack for LEGO-like Upscalable PEMFCs for Heavy Duty Transportation (HYMOBITALY)” vincitore della “Call for Scalability” interna al Centro Nazionale per la mobilità sostenibile (MOST) sotto la responsabilità del Politecnico di Bari (da qui in poi denominata “stazione appaltante”)

OGGETTO: realizzazione di un prototipo “lego-like” di cella a combustibile con membrana a scambio protonico (PEMFC) a elevate prestazioni.

REFERENTE SCIENTIFICO: Prof. Ing. Michele DASSISTI

REFERENTE AMMINISTRATIVO: dott. Vitantonio MARTINO

REFERENTE TECNICO: Ing. Sergio Ranaldo

Il presente documento fornisce gli elementi utili alla comprensione delle attività da svolgersi in favore della stazione appaltante.

Si fornisce, di seguito, una descrizione indicativa del dispositivo e una specifica delle attività oggetto del bando di gara. Inoltre, allegati alla presente, si forniscono elementi conoscitivi utili all’aggiudicatario per comprendere la complessità e gli elementi necessari a una corretta esecuzione della fornitura e posa in opera.

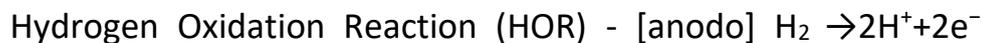
Configurazione di base (tutte le seguenti caratteristiche sono da intendersi minime e imprescindibili, a pena d'esclusione):

Descrizione dello stack "lego-like" di PEMFC a elevate prestazioni

La cella a combustibile prototipale in oggetto (da qui in avanti definita "DISPOSITIVO") è un convertitore elettrochimico a sistema aperto atto a produrre energia elettrica mediante la reazione tra un flusso di combustibile (idrogeno puro) e un flusso ossidante (ossigeno puro). Deve escludersi ogni contatto diretto dei reagenti (idrogeno e ossigeno).

Il dispositivo è costituito da un anodo, da un catodo e da un elettrolita, interposto tra gli elettrodi (membrana a scambio protonico), con funzioni di conduttore selettivo di ioni e separatore atto a evitare il contatto diretto tra i reagenti.

Le due reazioni esotermiche principali di funzionamento sono:



Nel dispositivo gli ioni H^+ sono condotti dall'anodo a catodo. L'acqua prodotta in quest'ultimo è l'unico prodotto di scarto nell'utilizzo dello stesso. Il rendimento medio di un dispositivo tipo quello in oggetto è dell'ordine del 60%: questo comporta che su un componente che eroga una potenza nominale da 1kW la quota di potenza dissipata in calore è dell'ordine di 400W c.a. Poiché il dispositivo deve operare a bassa temperatura ($<80^\circ\text{C}$), ne consegue che sarà necessario prevedere un sistema di gestione dei flussi termici e controllo della temperatura, eventualmente utilizzando l'acqua prodotta.

Le strutture base, costituite da elettrodi e membrane, denominate Membrane Electrode Assembly (MEA) possono operare a elevate densità di corrente ($> 4 \text{ A/cm}^2$, stimata sulla base della tecnologia brevettata da UNIPD, partner del progetto e fornitore delle MEA ai fini della presente fornitura) ma con bassi valori di tensione ai capi ($< 1 \text{ V}$): il dispositivo pertanto dovrà essere costituito da più MEA in serie. Particolarità del presente progetto è che la tecnologia utilizzata prevede una elevata backpressure (intorno a 4bar); di tale condizione operativa va tenuto conto per il dimensionamento delle tenute, che rappresentano un elemento critico di progettazione sia in termini di stabilità meccanica che di durabilità.

Per quanto concerne la concezione modulare (da cui la denominazione "lego type"), il contratto prevede l'ingegnerizzazione e la costruzione di un unico dispositivo composto da due componenti assemblabili (qui definiti stack) che siano due PEMFC perfettamente funzionanti. Ciascuno stack deve essere assemblabile in modo semplice e rapido (con azioni di montaggio di tipo manuale da un utente anche non esperto) in modo da formare, una volta uniti, un unico dispositivo in grado di erogare una potenza utile nominale somma delle due potenze nominali. Per la commessa in oggetto si intende realizzare un dispositivo in grado di erogare la potenza utile di 2kW mediante impilaggio di due stack da 1kW di potenza nominale cadauno come prima detto. Al momento, non vi sono soluzioni relative alla "impilabilità" dei

due stack, essendo un'attività innovativa di tipo sperimentale a carico del personale di ricerca della stazione appaltante.

Oggetto della collaborazione

Si richiedono all'aggiudicatario le seguenti attività:

- 1) Confronto sulla progettazione concettuale con il personale di ricerca della stazione appaltante. L'aggiudicatario potrà proporre soluzioni alternative e migliorative in termini di ricerca di nuove tipologie di materiali e/o rivestimenti, ricerca di nuove soluzioni di assemblabilità, eventuali processi per il rivestimento funzionale delle superfici per il fine di assicurare la resistenza alle reazioni chimiche avverse (es. di tipo corrosivo, di infragilimento; ecc.). Tali soluzioni alternative dovranno comunque essere approvate dalla stazione appaltante, unica responsabile delle soluzioni tecniche.
- 2) Produzione di disegni di massima.
- 3) Esecuzione di progettazione tecnica a valle della progettazione concettuale, con produzione di disegni tecnici esecutivi e rendering tridimensionale mediante software CAD.
- 4) Realizzazione del prototipo di dispositivo, con test di collaudo in dry run (test funzionali non con idrogeno e ossigeno): tenuta, resistenza meccanica.
- 5) Fornitura del sistema SCADA (supervisory control and data acquisition), per la gestione della prova funzionale degli stack e del carico, secondo specifica della stazione appaltante.
- 6) Supporto al collaudo funzionale c/o laboratorio specializzato per valutare la funzionalità operativa nelle condizioni di massima corrente.
- 7) Analisi finale in funzione anche delle attività di cui al punto 4 con proposizione di miglioramenti progettuali e/o realizzativi per una eventuale successiva fase di riprogettazione ottimizzata. Questa fase deve essere supportata da adeguata documentazione tecnica per consentire l'acquisizione di conoscenze ed esperienze maturate sul campo.
- 8) L'aggiudicatario supporterà altresì la stazione appaltante per tutte le attività inerenti alla comunicazione, provvedendo pertanto alla realizzazione di elaborati grafico/tecnici atti allo scopo.

L'eventuale ideazione di nuove procedure e/o soluzioni, suscettibili di brevettazione, sarà di proprietà esclusiva della stazione appaltante. La committente non avrà diritto di uso o replicazione in alcuna forma per differenti applicazioni.

ALLEGATO 1 - CRITERI DI VALUTAZIONE

L'appalto avrà luogo mediante procedura aperta e l'aggiudicazione, ai sensi e per gli effetti dell'art. 95 del Codice Appalti, con il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa. L'assegnazione dei pesi, per come previsto all'art. 95 comma 3 del Codice Appalti, il cui valore complessivo è pari a 100 (cento), di cui:

-massimo 20/100 per l'Offerta economica, ovvero per il Coefficiente A;

-massimo 80/100 per l'Offerta tecnica, ovvero per i Coefficienti B, C, D.

Il metodo di calcolo dell'offerta economicamente più vantaggiosa sarà effettuato dalla Commissione di valutazione, avvalendosi del metodo aggregativo compensatore, in linea con quanto previsto nel Regolamento di esecuzione ed attuazione del D. Lgs. N.163/2006, recante Codice dei Contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione alle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE, che consiste nell'assegnare a ciascuna offerta un punteggio complessivo calcolato adottando la seguente formula:

$$V(a) = \sum_i P_i * C(a)_i, \quad i = 0 \dots n$$

dove:

i = identificativo del concorrente

V(a) = valutazione dell'offerta del concorrente a; n = numero totale dei requisiti;

P_i = peso o punteggio attribuito al requisito i-esimo;

C(a)_i = coefficiente della prestazione dell'offerta del concorrente (a) rispetto al requisito i-esimo, variabile tra 0 e 1.

La Commissione provvederà, quindi, a stilare la graduatoria finale, proponendo all'Amministrazione l'aggiudicazione alla Ditta che avrà ottenuto il punteggio più alto espresso in centesimi.

L'Amministrazione, quando nessuna delle offerte presentate soddisfi quanto prescritto dal Capitolato o quando dall'esame delle stesse nessuna risulti conveniente, può scegliere nessuna delle ditte concorrenti.

L'Amministrazione si riserva la facoltà di aggiudicare la fornitura anche se alla gara avrà partecipato una sola ditta. Resta espressamente fissato che nessun compenso spetta alle Ditte concorrenti per la compilazione e redazione delle offerte presentate.

I suddetti coefficienti sono determinati per come di seguito riportato, fermo restando che per gli elementi di natura qualitativa, si procederà, per come previsto dall'Allegato P al Regolamento di esecuzione ed attuazione del D.Lgs. n. 12 aprile 2006 n. 163, alla c.d. riparametrazione ad 1.

La comparazione avverrà tramite il metodo aggregativo compensatore sui seguenti elementi di valutazione: A (prezzo), B (Tempo di Consegna), C (Garanzia), D1-DN (Offerta Tecnica).

Sono sotto riportati il peso di ogni elemento e le modalità di valutazione.

ELEMENTI DI VALUTAZIONE	Descrizione	Peso
A	Prezzo(€)	20
B	Tempi e modalità di consegna [settimane]	10
C	Garanzia e manutenzione [mesi]	5
D1	Qualificate competenze progettuali	10
D2	Disponibilità di laboratori/uffici con personale qualificato per le riparazioni/manutenzione	20
D4	Disponibilità di laboratori per il collaudo in dry-run	20
D5	Qualificate competenze per la realizzazione di sistemi di controllo elettronico	15
		100

Criteria e modalità di valutazione degli elementi

A) Elemento "Prezzo", peso massimo: 20 punti su 100.

Il punteggio assegnato all'elemento A, rappresentativo dell'elemento "Prezzo", è calcolato con la seguente espressione:

$$PA(a) = PA,max \times \frac{Omin}{O(a)}$$

$PA(a)$: punteggio del partecipante (a) assegnato all'elemento A

PA,max : massimo punteggio attribuibile all'elemento A

$Omin$: offerta economica minore tra tutti i partecipanti

$O(a)$: offerta economica del partecipante (a)

B) Elemento "Tempi e modalità di consegna", peso massimo: 7 punti su 100

La valutazione dell'elemento B è determinata mediante la seguente tabella:

Tempi di consegna	Valutazione (P _B)
Entro 1 mese	4
Entro 2 mesi	2
Entro 3 mesi	0
Modalità di Consegna	
Installazione presso sede	2
Comprensivo di Trasporto e scarico	1

C) Elemento "Garanzia e manutenzione", peso massimo: 3 punti su 100

La garanzia di conformità, che dura 24 mesi, deve essere obbligatoriamente prestata dal fornitore e garantisce la riparazione o la sostituzione del prodotto senza alcuna spesa per il cliente. La valutazione dell'elemento C è determinata dalla durata dell'estensione della garanzia fornita dal produttore di buon funzionamento del sistema mediante la seguente tabella:

Garanzia aggiuntiva fornita dal produttore	Valutazione, P _C
12 mesi	3
6 mesi	1,5
0 mesi	0

D) Elementi D1-DN, Valutazione offerta tecnica, peso totale massimo: 70 punti su 100

I concorrenti devono indicare le specifiche tecniche della loro strumentazione, oltre che indicare esplicitamente se raggiungono i requisiti minimi (RM). La valutazione dei singoli elementi è calcolata mediante le espressioni riportate nella seguente tabella.

ELEMENTI DI VALUTAZIONE	Descrizione	Peso
D1	Qualificate competenze progettuali	30
D2	Disponibilità di laboratori/officine con personale qualificato per le riparazioni/manutenzione	20
D4	Disponibilità di laboratori per il collaudo in dry-run	10
D5	Qualificate competenze per la realizzazione di sistemi di controllo elettronico	10
		<u>70</u>

ALLEGATO 2 - Elementi conoscitivi per la valutazione della complessità delle attività progettuali e costruttive per il singolo stack PEMFC lego-like da 1kW.

L'aggiudicatario dovrà sin dall'inizio interagire con la stazione appaltante per giungere il più rapidamente possibile alla definizione del progetto esecutivo e alla realizzazione della soluzione concordata e approvata dal personale della stazione appaltante stessa.

Per tale ragione si forniscono alcuni elementi informativi di massima, non vincolanti ai fini della fornitura, per comprendere le principali criticità progettuali del singolo stack.

Il dispositivo deve essere pensato per garantire la massima leggerezza possibile per potersi adattare ad applicazioni di mobilità di tipo elettrico per il trasporto di persone e merci leggere.

I componenti fondamentali del singolo stack devono essere [1]:

- i Bipolar Plates (BPP), i quale collegano l'anodo di una MEA con il catodo di una cella contigua;
- le guarnizioni, che assicurano la tenuta con scopo di integrità e sicurezza;
- i Current Collector, i quali consentono la connessione con il circuito esterno per la conduzione di elettroni richiesto dalle semireazioni;
- gli End Plates (EP), che chiudono la struttura in assemblaggio;

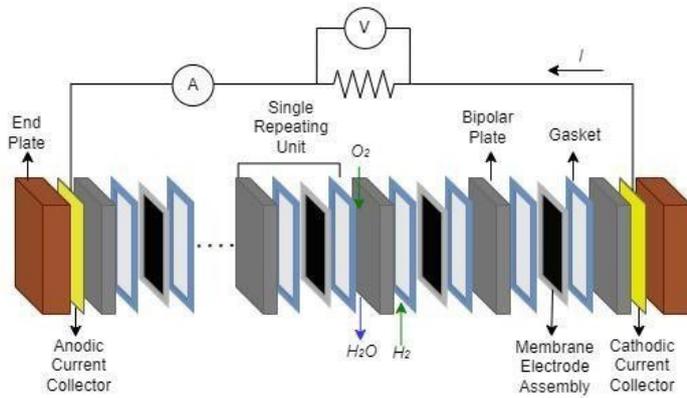


Figure 1 - Schema di massima uno generico stack di PEMFC

1 - Bipolar Plates

Il Bipolar Plate (BPP) è un componente essenziale in uno stack PEMFC, le sue funzioni principali sono [2]:

- facilitare la distribuzione dei reagenti;
- facilitare lo smaltimento dell'acqua prodotta;
- essere impermeabili ai gas;
- fornire resistenza meccanica alla struttura;
- minimizzare le resistenze elettriche aggiuntive;
- essere conduttore termico e integrare, in modo ottimale, i canali di raffreddamento [3].

Un aspetto fondamentale è garantire nel progetto esecutivo l'accoppiamento tra geometria, materiali e metodi di fabbricazione per il dispositivo.

Per quanto concerne i materiali, i BPP sono tradizionalmente realizzati in grafite ma negli ultimi anni vi è una sempre maggiore diffusione di acciai inossidabili, titanio e materiali compositi a base polimerica o grafitica.

In Fig. 2, a puro titolo indicativo, si riporta uno schema dei flussi di massa ed energia che interessano un singolo BPP (figura a sx) e una rappresentazione di una struttura comune di BPPs in grafite e in materiale metallico (figura a dx).

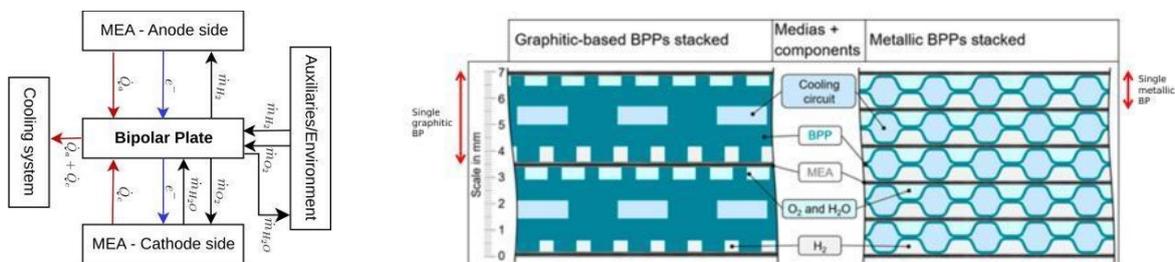


Figure 2 - Flussi di massa ed energia per un BPP (sx), confronto tra strutture a base grafite e metallica (dx) [4]

Esistono numerose opportunità in termini di geometria dei canali di flusso per la distribuzione dei reagenti e lo smaltimento dell'acqua, inoltre è possibile adottare differenti soluzioni in termini di orientamento relativo dei flussi tra lato anodico e catodico. I vantaggi e svantaggi delle opzioni più comunemente scelte in fase progettuale sono sintetizzate in Fig. 3.

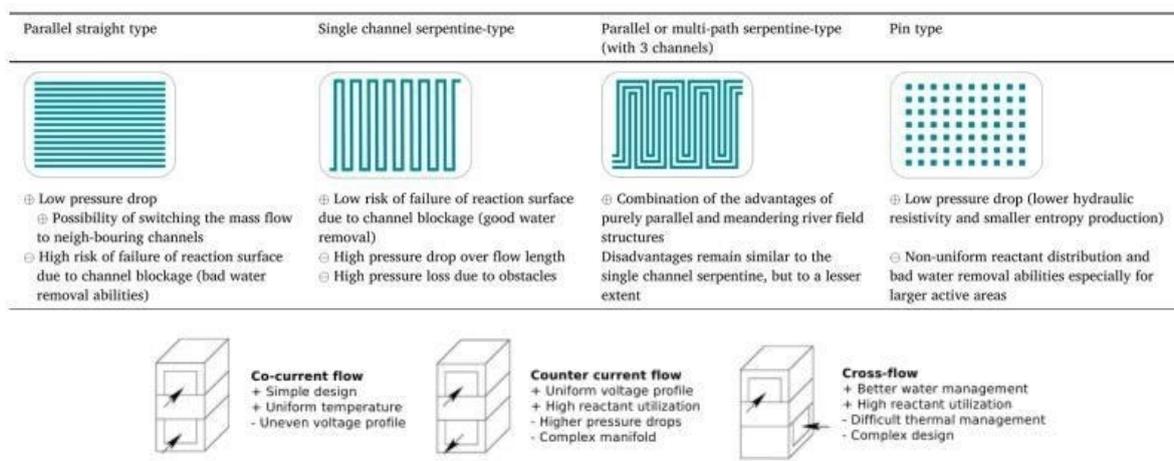


Figure 3 - Soluzioni per geometria dei canali (in alto) ed orientamento relativo dei flussi (in basso) [4]

2 - Le guarnizioni

In uno stack PEMFC, le guarnizioni sono interposte tra le MEA e i BPPs, esse devono assicurare [5]:

- la tenuta dei gas, al fine di evitare perdite di O_2 ed H_2 i quali potrebbero impattare su efficienza e sicurezza;
- compatibilità chimica con i reagenti e prodotti;
- resistenza alla compressione.

Tipici materiali impiegati sono elastomeri fluorurati, politetrafluoroetilene (PTFE), elastomeri siliconici e compositi, dove questi ultimi impiegano una matrice polimerica e fibre di rinforzo.

3 - End Plates e assemblaggio

Gli End Plates sono gli elementi terminali di uno stack, essi devono garantire [6]:

- la distribuzione ottimale del carico di assemblaggio;
- elevata conducibilità termica;
- elevata resistenza meccanica;

L'assemblaggio di uno stack è una fase critica, è necessario garantire uniformità della pressione sulla struttura e un preciso allineamento dei componenti al fine di evitare resistenze aggiuntive (termiche ed elettriche) e fughe di reagenti e prodotti.

Il carico di assemblaggio e la sua distribuzione sono fattori chiave.

Un elevato carico comporta un'eccessiva deformazione di componenti porosi degli elettrodi, quindi un declino delle prestazioni del sistema, un basso carico comporta invece elevate perdite di gas dalle guarnizioni. Due metodi di assemblaggio sono attualmente impiegati per stack PEMFC [7]:

Assemblaggio a vite

Distribuzione del carico concentrato su viti mediante un End Plate di elevato spessore.

- Vantaggi: metodo semplice e pratico;
- Svantaggi: carico non distribuito in modo sufficientemente uniforme, possibilità di inflessione degli EP, elevato peso.

Assemblaggio a strappo

Utilizzo di cinghie in acciaio in tensione per la chiusura dello stack.

- Vantaggi: carico distribuito uniformemente sulla struttura, peso ridotto;
- Svantaggi: metodo più complesso.

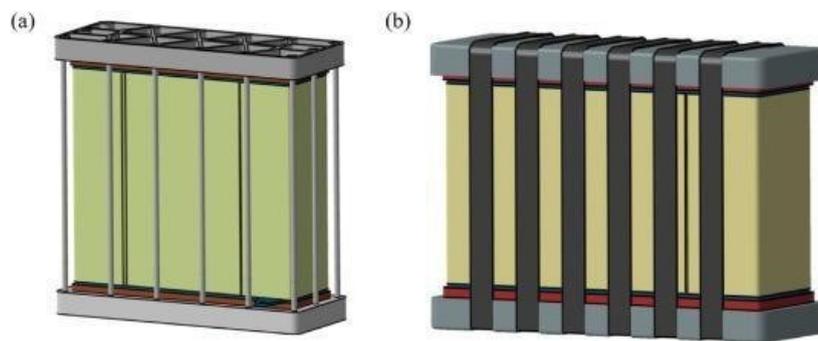


Figure 4 - Assemblaggio a vite (a) e a cinghia (b) di uno stack PEMFC [7]