

Design di un cavo sottomarino in MgB_2 per il trasferimento combinato di energia elettrica e idrogeno liquido

M. Breschi, L. Cavallucci, A. Macchiagodena

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione
Università di Bologna
Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

Questa memoria illustra il contributo dell'Unità di Ricerca dell'Università di Bologna al progetto PRIN 2022 denominato Tricheco (*Trasporto in simultanea di energia chimica ed elettrica in conduttori criogenici*), finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca. Il progetto mira ad analizzare il trasporto congiunto di energia elettrica e chimica tramite cavo superconduttore ed idrogeno liquido, che funge sia da refrigerante per il superconduttore sia da vettore energetico. Tale soluzione consente di limitare la tensione della linea di trasmissione e di aumentarne il rendimento.

Nel contesto della transizione energetica, è in fase di realizzazione nel Mare Adriatico, al largo del porto di Ravenna, il progetto AGNES, che prevede la costruzione di un parco di produzione di energia da fonti rinnovabili (FER). Il progetto prevede la realizzazione di un impianto eolico e uno fotovoltaico, di potenza pari a 200 MWe 100 MWe rispettivamente, per un totale di 300 MWe [1]. Il parco è caratterizzato dalla possibilità di utilizzare l'idrogeno come sistema di accumulo di energia nelle fasi di eccesso di produzione da parte dei sistemi FER. A tal fine, l'impianto è dotato di una serie di elettrolizzatori in grado di produrre fino a 4000 tonnellate/anno di idrogeno. Nell'ambito del progetto Tricheco, tale impianto è stato assunto come caso di studio per la progettazione di una linea atta al trasferimento verso la terraferma dell'energia elettrica e chimica mediante un cavo superconduttore (SC) refrigerato in idrogeno liquido (LH_2).

La linea progettata consiste in un cavo superconduttore in corrente continua lungo 30 km in diboruro di magnesio (MgB_2) inserito in un criostato per il contenimento dell'idrogeno liquido. In questa configurazione, la ridondanza necessaria per garantire il funzionamento della connessione anche in presenza di eventuali guasti della linea superconduttiva è garantita da un cavo convenzionale in rame posto in parallelo al cavo superconduttore. Il layout della linea ibrida, con i relativi ausiliari per la fornitura e la gestione dell'idrogeno liquido, è mostrato in Fig. 1.

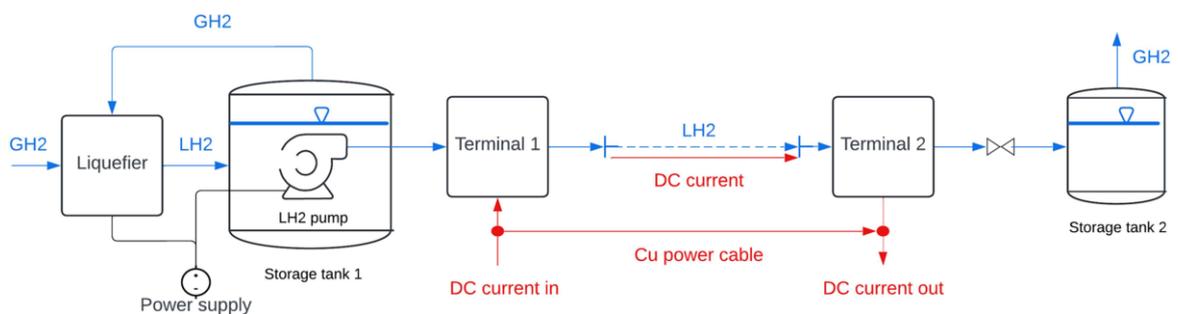


Figura 1. Schema della linea ibrida, con gli ausiliari per la fornitura e la gestione dell'idrogeno liquido.

Il layout del cavo con il relativo criostato per l'idrogeno liquido è mostrato in Fig. 2a. In Fig. 2b è mostrata la sezione del solo cavo superconduttore, progettato per operare in corrente continua (DC) a 30 kV con corrente nominale di 10 kA, per una potenza elettrica nominale di 300 MWe. Il progetto prevede una temperatura di funzionamento compresa tra 25 e 29 K, con un rapporto tra corrente operativa e corrente critica del superconduttore pari al 90%.

Nella configurazione di conduttore selezionata, 42 fili di MgB_2 sono disposti attorno a un *former* in rame con diametro di 8,2 mm, mostrato in Fig. 2b. L'isolamento elettrico è garantito da carta laminata in polipropilene (PPLP), con uno spessore complessivo di 2,5 mm.

Presso l'unità di ricerca dell'Università di Bologna è stato sviluppato un modello elettrico della linea superconduttiva, basato su un circuito a parametri concentrati del cavo in corrente continua (DC) in media tensione (MV). Il modello elettrico è accoppiato con un modello termico e fluidodinamico atto a studiare il flusso dell'idrogeno liquido in condizioni stazionarie e durante i transitori. Il modello accoppiato elettrico e fluidodinamico può essere applicato all'analisi delle principali condizioni di guasto della linea superconduttiva. L'incremento di pressione e temperatura dell'idrogeno e del cavo superconduttore causati, ad esempio, da un corto circuito, possono essere confrontati con i limiti imposti dai vincoli meccanici e termici.

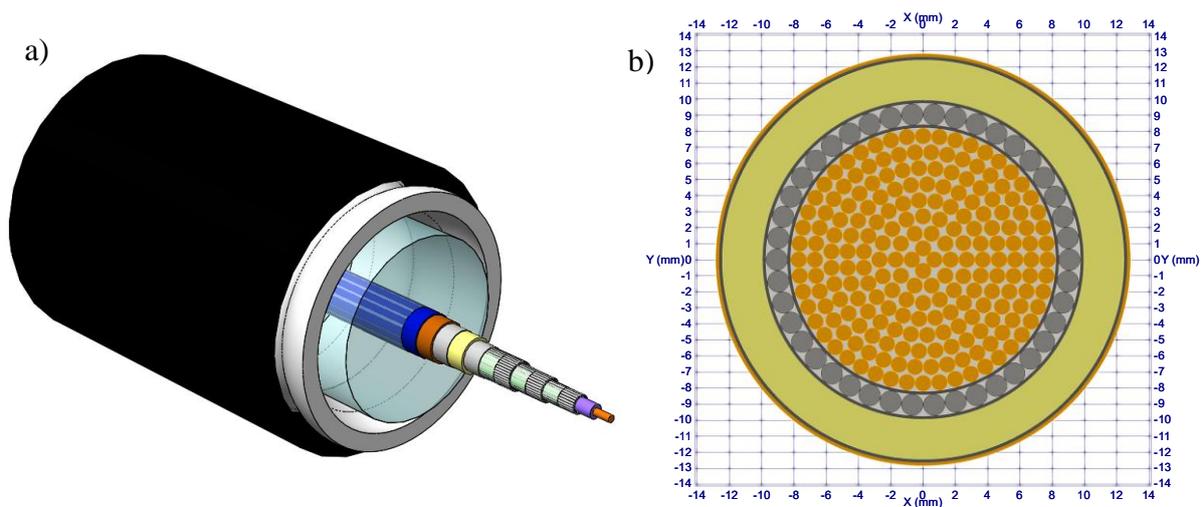


Figura 2. a) Cavo superconduttore in MgB_2 con criostato e refrigerante; b) Sezione del cavo superconduttore in MgB_2 .

Bibliografia

[1] <https://www.agnespower.com/>

[2] M. Bracco *et al.*, "Design of a Submarine 30-km MgB_2 Cable for the Combined Transfer of 0.3 GWe and liquid hydrogen from Offshore Plants to the Ravenna Port," *IEEE Trans. App. Supercond.*, vol. 35, no. 5, pp. 1-6, Aug. 2025, Art no. 5400906.