

SuperConducting Energy Pipelines for the simultaneous transfer of electricity and liquid hydrogen

INTRODUZIONE

L'attività di ricerca si colloca all'interno del progetto di ricerca di rilevante interesse nazionale (PRIN) denominato "SuperConducting Energy Pipelines for the simultaneous transfer of electricity and liquid hydrogen: design and assessment of their potential role in boosting the decarbonization of the Italian industry" proposto dall'Università di Bologna in collaborazione con il Politecnico di Torino e l'INFN. Lo scopo del progetto è lo studio di linee energetiche in grado di trasportare energia elettrica ed energia chimica, denominate SuperConducting Energy Pipelines (SCEP). Il trasferimento combinato di elettricità e idrogeno liquido (LH2) tramite SCEP trae origini da alcuni lavori scientifici relativi alla trasmissione simultanea di energia chimica ed elettrica a grandi distanze [1, 2]. L'idea di combinare il trasporto di energia chimica ed elettrica si sta sviluppando significativamente, come mostrato nei progetti descritti in [3-6]. La SCEP potrebbe favorire il processo di decarbonizzazione e l'incremento della quota di idrogeno utilizzato a fini energetici, come previsto dal Governo italiano [7] e mostrato in Fig. 1.

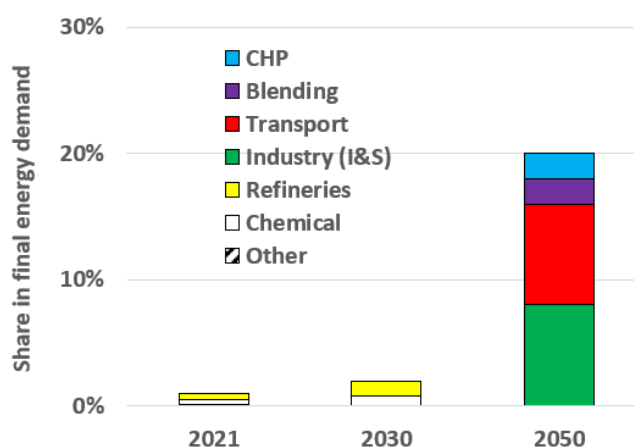


Figura 1. Incremento della quota di idrogeno nella domanda totale di energia previsto nelle Linee Guida Preliminari della Strategia Nazionale per l'Idrogeno [7], ripartito per uso finale.

PROGETTO DI RICERCA

Il lavoro di ricerca è rivolto alla progettazione concettuale di un cavo superconduttore (SC) raffreddato da un flusso di idrogeno liquido (LH2), per il trasporto combinato di elettricità e LH2 dai siti di produzione agli utenti finali. I materiali superconduttori sono in grado di sostituire i conduttori resistivi nella distribuzione di energia, riducendo le perdite elettrodinamiche e l'impatto ambientale. La necessità di raffreddamento a temperature criogeniche viene normalmente soddisfatta dall'azoto liquido o dall'elio gassoso.

Tuttavia, l'utilizzo di LH2 come criogeno per tali cavi, combinato all'uso di diboruro di magnesio come (MgB2) come materiale SC, aggiunge la distribuzione di LH2 ai vantaggi legati all'utilizzo di cavi SC.

La progettazione concettuale di uno SCEP verrà realizzata sviluppando uno strumento di simulazione in grado di individuare la migliore configurazione SCEP sulla base dell'identificazione dei parametri operativi adeguati (livello di tensione, potenza, portata del flusso di LH2, lunghezza, ecc.). La robustezza della progettazione verrà verificata mediante un'analisi elettrica e termo-idraulica dettagliata, realizzata con strumenti numerici sviluppati nel corso degli ultimi vent'anni da parte del Laboratorio di Ingegneria dei Magneti e Superconduttività Applicata (LIMSA) dell'Università di Bologna [8-10] e dal Politecnico di Torino [11,12].

L'attività di progettazione fornirà come risultato principale indicatori di merito per la SCEP e per la relativa caratterizzazione tecnico-economica, al fine di studiare la possibile integrazione delle SCEP nel sistema energetico italiano. In Fig. 2 è mostrato una possibile configurazione della SCEP da utilizzare come base per lo studio.

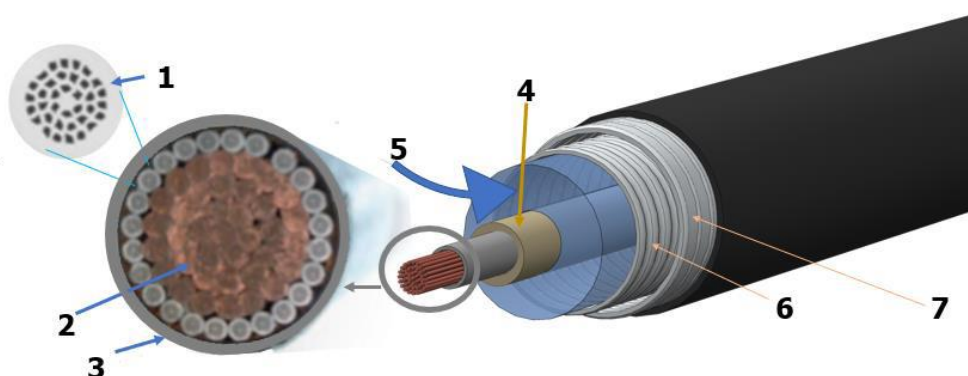


Figura 2. Layout di riferimento per lo SCEP, 1 filo di MgB2, 2 filamenti di rame 3 avvolgimento in acciaio inossidabile 4 dielettrico freddo 5 idrogeno liquido 6 criostato interno con isolante termico (isolante omesso nella figura) 7 criostato esterno con strato esterno in polietilene (evidenziato in nero nella figura) [13].

PIANO DELLE ATTIVITÀ

Il progetto di ricerca si articolerà in diverse attività di analisi descritte nel seguito.

1. Analisi funzionale dei componenti dello SCEP

La prima fase della progettazione dello SCEP è l'analisi funzionale. In questa fase, vengono identificate in modo dettagliato tutte le funzioni che lo SCEP dovrà svolgere e vengono individuati i componenti necessari per l'assolvimento di tali funzioni. Il design della SCEP si baserà sulle informazioni ottenute in questo studio preliminare.

2. Design del conduttore elettrico in MgB₂

Il progetto si concentrerà inizialmente sulla progettazione di un conduttore in corrente continua a Media Tensione (MT), con una tensione nominale compresa tra 10 e 30 kV. Solo in una seconda fase verrà presa in considerazione una soluzione ad Alta Tensione (AT). Si analizzerà l'intervallo di potenza e lunghezza in cui questa tecnologia risulta economicamente e ambientalmente vantaggiosa rispetto alle soluzioni tradizionali. Verrà inoltre sviluppato un codice numerico per identificare la configurazione ottimale del cavo in base ai parametri di progettazione.

3. Calcolo delle perdite AC nello SCEP

Nonostante il cavo sia composto da materiale superconduttivo, questo non è esente da fenomeni dissipativi, consistenti in particolare in perdite Joule associate a correnti indotte dalla variazione temporale della corrente di trasporto e/o del campo magnetico esterno. Nel caso della SCEP tali perdite sono legate al ripple di corrente dovuto ai convertitori che la alimentano. Il calcolo di queste dissipazioni, chiamate perdite AC, è fondamentale per il dimensionamento del sistema criogenico, in quanto le perdite determinano le dimensioni geometriche della SCEP, la temperatura e pressione dell'idrogeno liquido utilizzato come fluido refrigerante.

Bibliografia

- [1] P. M. Grant, "The SuperCable: Dual delivery of chemical and electric power," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 15, no. 2 PART II, pp. 1810–1813, Jun. 2005, doi: 10.1109/TASC.2005.849298.
- [2] P. M. Grant, "Could SuperCables deliver both hydrogen and electricity via a SuperGrid?," *Power*, vol. 151, no. 5, May 2007.
- [3] V. V. Kostyuk et al., "Experimental hybrid power transmission line with liquid hydrogen and MgB₂-based superconducting cable," *Tech. Phys. Lett.* 2012 383, vol. 38, no. 3, pp. 279–282, Apr. 2012, doi: 10.1134/S106378501203025X.
- [4] V. S. Vysotsky et al., "Hybrid energy transfer line with liquid hydrogen and superconducting MgB₂ cable - First experimental proof of concept," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 23, no. 3, 2013, doi: 10.1109/TASC.2013.2238574.
- [5] V. S. Vysotsky et al., "Energy Transfer with Hydrogen and Superconductivity – The Review of the First Experimental Results," *Phys. Procedia*, vol. 65, pp. 299–302, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.PHPRO.2015.05.158.
- [6] J. Chen et al., "Simulation and experiment on superconducting DC energy pipeline cooled by LNG," *Cryogenics (Guildf.)*, vol. 112, p. 103128, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.CRYOGENICS.2020.103128.
- [7] Ministero dello Sviluppo Economico, "Strategia Nazionale Idrogeno Linee Guida Preliminari," 2021.
- [8] M. Breschi, M. Bianchi, R. Bonifetto, S. Carli, A. Devred, N. Martovetsky, P. L. Ribani, L. Savoldi, I. Takaaki, and R. Zanino, "Analysis of AC Losses in the ITER Central Solenoid Insert Coil," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 23, no. 3, 2014, Art. no. 4400505.
- [9] . Musso, G. Angeli, M. Bocchi, P. Ribani, and M. Breschi, "Oscar: A cost analysis of hts coaxial cables with a novel optimization method," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 33, no. 5, pp. 1–5, 2023.
- [10] M. Breschi and P. L. Ribani, "Electromagnetic modeling of the jacket in cable-in-conduit conductors," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 18, no. 1, pp. 18–28, Mar. 2008.
- [11] Laura Savoldi, Daniele Placido, Sofia Viarengo (2022). Thermal-hydraulic models for the cooling of HTS power-transmission cables: status and needs. *SUPERCONDUCTOR SCIENCE & TECHNOLOGY*, ISSN: 0953-2048, doi: 10.1088/1361-6668/ac4f3c
- [12] L. Savoldi, R. Zanino (2000). M&M: Multi-Conductor Mithrandir Code for the Simulation of Thermal-Hydraulic Transients in Superconducting Magnets. *CRYOGENICS*, vol. 40, p. 179-189, ISSN: 0011-2275
- [13] L. Savoldi, A. Balbo, C. E. Bruzek, G. Grasso, M. Patti, and M. Tropeano, "Conceptual design of a superconducting energy pipeline for lh 2 and power transmission over long distances," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2024.6