

# Procedura di ottimizzazione di un filo superconduttore in $MgB_2$

*M. Breschi, L. Cavallucci, A. Macchiagodena, L. Soldati*

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

Questa memoria illustra sinteticamente il contributo dell'Unità di Ricerca dell'Università di Bologna al progetto MARES (*Marine Reciprocating Superconducting Generator, RSG*), finanziato dall'Unione Europea. Il progetto MARES mira a sviluppare una nuova generazione di generatori superconduttori integrati in un convertitore di energia estratta dalle onde marine (WEC) [1].

Il progetto MARES rappresenta un'evoluzione del precedente progetto SEA-TITAN, mostrato in Fig. 1a. Infatti, nel progetto MARES, il generatore sarà realizzato utilizzando due bobine, di cui una avvolta tramite nastri superconduttori ceramici di seconda generazione a base di cuprati (REBCO), e l'altra mediante fili superconduttori in diboruro di magnesio ( $MgB_2$ ). Il progetto del dispositivo è mostrato in Fig. 1b. I fili di diboruro di magnesio rappresentano un'alternativa economica rispetto ai nastri ceramici, con un costo di almeno un ordine di grandezza inferiore.

Il design ottimale dei fili di  $MgB_2$  per questo dispositivo è particolarmente rilevante, in quanto le perdite nei fili di diboruro di magnesio durante i transitori elettrodinamici rappresentano una delle principali fonti di dissipazione del dispositivo. Minimizzare tali perdite costituisce pertanto un elemento essenziale per consentire l'applicazione dei fili in  $MgB_2$  in questo tipo di dispositivi.

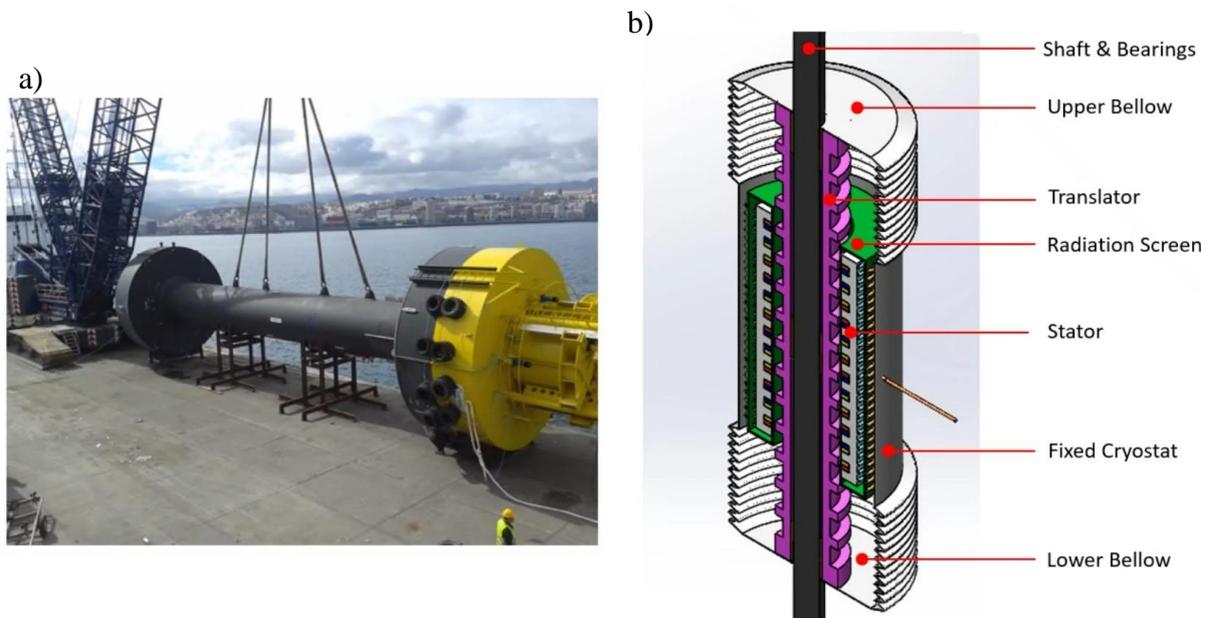


Figura 1. a) Generatore di energia da moto ondoso sviluppato nel progetto europeo SeaTitan, b) Design del generatore in fase di sviluppo per il progetto Mares.

L'unità di ricerca di Bologna ha sviluppato negli ultimi anni un modello elettrodinamico agli elementi finiti (FEM) in grado di calcolare le perdite in fili superconduttori di diboruro di

magnesio, caratterizzato dalla capacità di tenere in conto in modo integrato di tutte le fonti di perdita del filo, quali le dissipazioni dovute a correnti parassite nella matrice del filo, le perdite per isteresi nel superconduttore e nella matrice ferromagnetica del filo [2]. Tale matrice è infatti costituita da materiali ferromagnetici dolci, quali nichel e monel, come mostrato rappresentazione della struttura del filo composito di Fig. 2a.

Per identificare configurazioni di filo di  $MgB_2$  ottimali in termini di perdite in transitori elettrodinamici, è stato sviluppato un algoritmo genetico atto a risolvere un problema di minimizzazione vincolata per una funzione multivariabile. L'algoritmo è accoppiato, per lo studio delle perdite elettrodinamiche di ogni configurazione, al menzionato modello FEM.

Il filo prodotto da ASG Superconductors S.p.A di Genova è utilizzato come configurazione di riferimento. L'obiettivo finale dell'algoritmo è l'identificazione dei parametri del filo che minimizzano le perdite. I parametri variati nel processo di ottimizzazione sono il numero e il diametro dei filamenti superconduttori, il fill-factor (rapporto tra area di superconduttore e area totale), il diametro del filo e il passo di cablatura dei filamenti.

Le perdite elettrodinamiche in funzione di alcuni dei parametri di design del filo sono mostrate in Fig. 2b in condizioni operative prossime a quelle del dispositivo in via di progettazione per il progetto MARES. In seguito alla progettazione ottimizzata del filo, il modello di calcolo sviluppato sarà applicato alla valutazione delle perdite negli avvolgimenti in  $MgB_2$  del dispositivo durante il funzionamento.

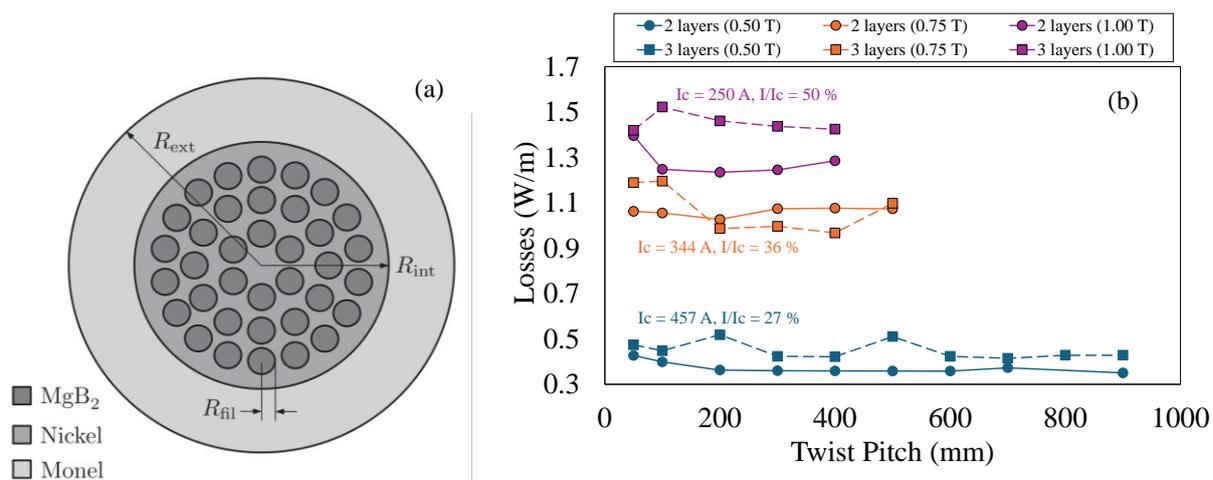


Figura 2. a) Struttura del filo in  $MgB_2$ , b) perdite in funzione del passo di cablatura per un filo con 2 e 3 strati di filamenti superconduttori

## Bibliografia

- [1] Progetto MARES, finanziato dall'Unione Europea, GA 101172746, <https://maresproject.com/about-mares/>.
- [2] L. Soldati, J. Dular, M. Breschi, T. Spina and C. E. Bruzek. "Analysis of AC Losses Due to Current Ripple in  $MgB_2$  Wires With Helicoidal Transformation Method", *IEEE Trans. App. Supercond.*, vol. 35, no. 5, Aug 2025.