SATT 13 – Sestri Levante (Ge), 29–31 Mar. 2006

Large scale exploitation of Renewable Energy Sources using the LH_2-cooled MgB_2 superconducting line

L. Trevisani, M. Fabbri,
F. Negrini, A. Morandi

Dip. Ingegneria Elettrica
Università di Bologna, Italia

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

31 marzo 2006

Punti principali della presentazione

- Introduzione: sostenibilità del sistema energetico attuale; Fonti Energetiche Rinnovabili.
- Presentazione del sistema studiato.
- Dimensionamento della linea combinata MgB_2/LH_2:
  - Isolamento termico;
  - Sezione del cavo;
  - Sezione del condotto.
- Modello elettrico del sistema e strategia di controllo.
- Risultati delle simulazioni e analisi delle prestazioni.

Introduzione

Sistema energetico attuale e prospettive

- Il fabbisogno energetico mondiale è stimato in aumento del 60% di qui al 2030 (2/3 dell'incremento da paesi in via di sviluppo) [IEA].
- Fonti energetiche fossili: problemi crescenti di costo, sicurezza di approvvigionamento, protezione dell'ambiente [IEA].
- Scenario alternativo: sfruttamento su larga scala delle Fonti Energetiche Rinnovabili (FER).

Introduzione

Sfruttamento FER su larga scala: potenzialità

- Le Fonti Energetiche Rinnovabili hanno le potenzialità di sostenere la domanda energetica presente e futura.

- Molti paesi hanno già attivato programmi ambiziosi per l'estensione delle FER nel sistema energetico. *Alcuni esempi*:
  - Idroelettrico: in Cina si sta completando il più grande impianto del mondo (18.2 GW nel 2009);
  - Eolico: In Danimarca rappresenta il 20 % dell'energia elettrica consumata (2004).

- L'energia solare può rappresentare una fonte di primaria importanza nel lungo periodo: lo 0.3% del Sahara destinata a impianti PV equivarrebbe alla potenza elettrica totale installata in Europa (700 GW).

Introduzione

Sfruttamento FER su larga scala: difficoltà

1. La disponibilità di potenza FER é tipicamente variabile e scarsamente prevedibile:

⇩

Sistemi di accumulo energetico sono richiesti al fine di permettere una vasta penetrazione delle FER nel sistema energetico garantendo la stabilità di rete.

2. FER come l'eolico o il solare sono tipicamente distribuite su vaste aree con bassa densità di potenza per unità di superficie:

⇩

Le aree remote e scarsamente popolate sono adatte alla realizzazione di grandi impianti FER, ma sistemi efficienti per la trasmissione di grande potenza sono necessari per raggiungere le zone densamente popolate.

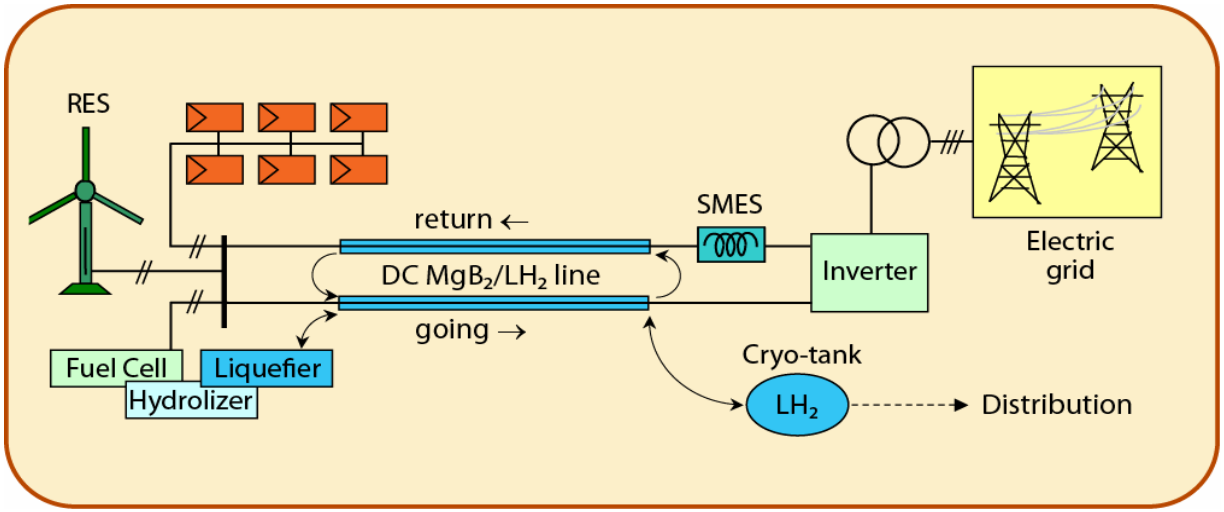
Introduzione

Linea DC superconduttiva MgB_2 raffreddata LH_2

- Fili e nastri di MgB_2 sono disponibili in lunghezze superiori al km.
- Costo relativamente basso (rispetto a HTS).
- Campo B limitato per applicazione nei cavi.
- Le temperature tecnicamente utili (inferiori a 25–28 K) rendono possibile l'utilizzo di LH_2 come criogeno.
- LH_2 ha viscosità λ e densità molto basse per un liquido (un ordine di grandezza inferiori rispetto a LN_2).
- È possibile realizzare un linea combinata per il trasporto di potenza elettrica e LH_2.

Introduzione

Il sistema combinato MgB_2 / LH_2



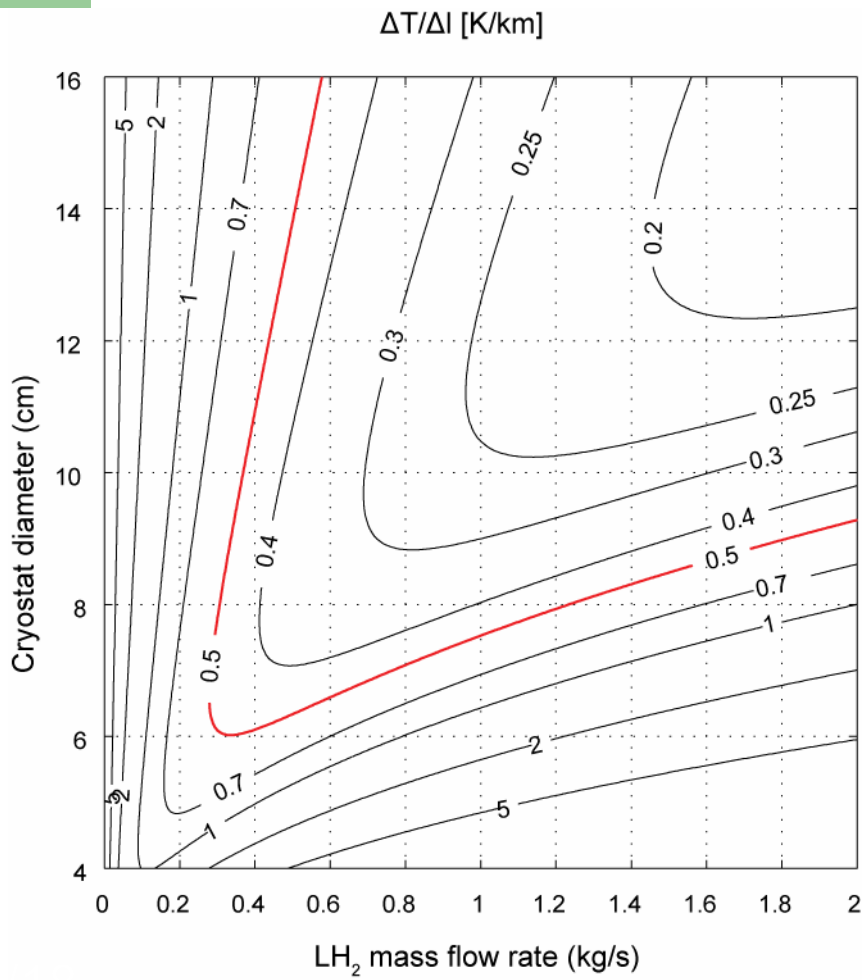
- L'idrogeno può essere usato quale sistema di accumulo e regolazione di potenza da FER. La linea combinata permette il trasporto contemporaneo e flessibile di potenza elettrica e LH2.
- Il sistema può rappresentare una soluzione integrata ai 2 problemi esposti.

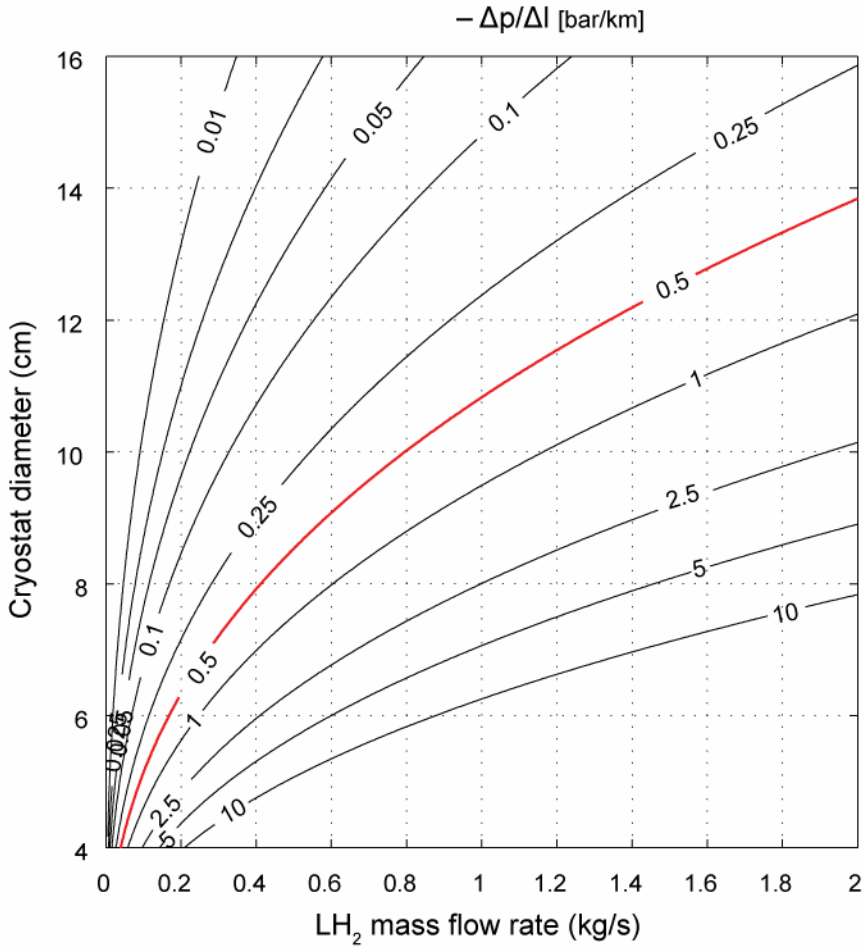
Dimensionamento della linea MgB_2/LH_2

- Isolamento termico MLI: ingressi termici ≈ 2 W/m con diametro criostato 120 mm.
- Sezione del cavo: I_{DC} = 12 kA → 112 fili MgB_2 stabilizzati Cu (7×4×4, $Ø_{eq.circ.}$ ≈ 20 mm).
- Limiti di temperatura e pressione lungo la linea:
  - T_{max} = 25 K (diminuzione delle prestazioni dell'MgB_2);
  - T_{min} = 15 K (solidificazione dell'idrogeno a 13.8 K);
  - p_{max} = 17 bar (resistenza meccanica del criostato)
  - p_{min} = 5 bar (punto d'ebollizione dell'idrogeno a 27 K).
- Si determinano i limiti di ΔT e Δp per km in base alla distanza fra stazioni di pompaggio/refrigerazione:
  20 km → valori limite 0.5 K/km 0.5 bar/km

Progetto della linea MgB_2 / LH_2

Diagrammi $\Delta T/\Delta l$ e $\Delta p/\Delta l$ lungo la linea



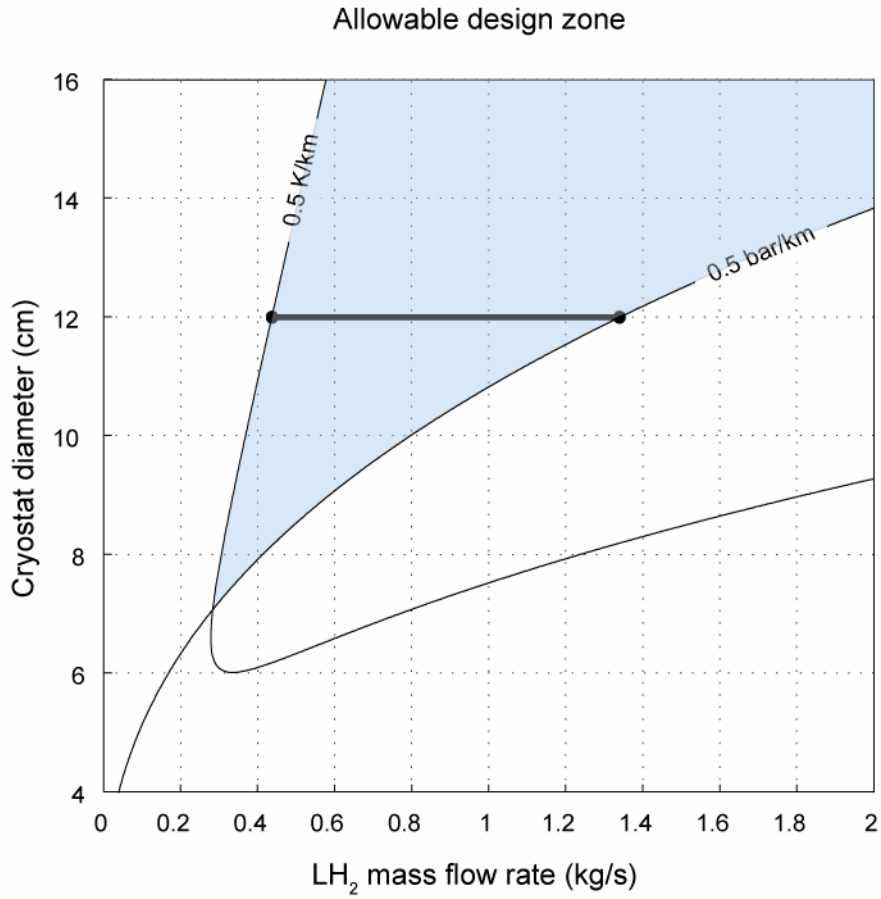


Progetto della linea MgB_2 / LH_2

Area ammissibile di progetto

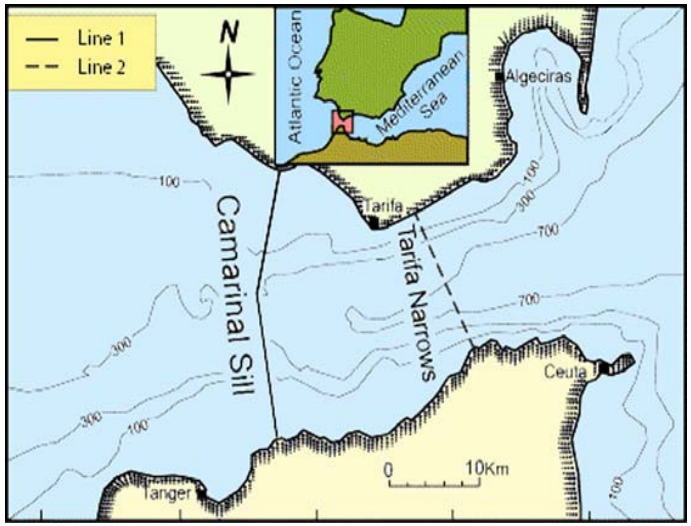
- Criostato con Ø 12 cm: portata ammissibile compresa fra 0.4÷1.3 kg/s.

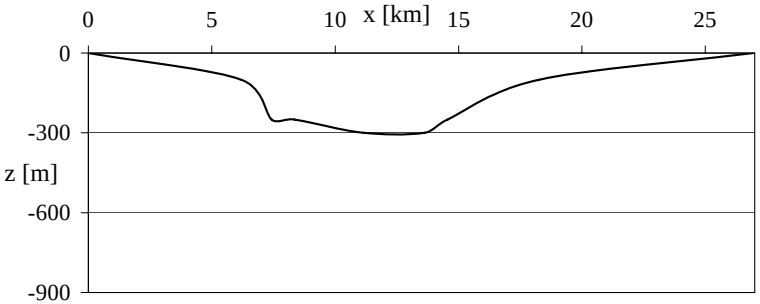
- Il dimensionamento di tentativo viene verificato integrando le equazioni del modello con proprietà variabili lungo la linea.

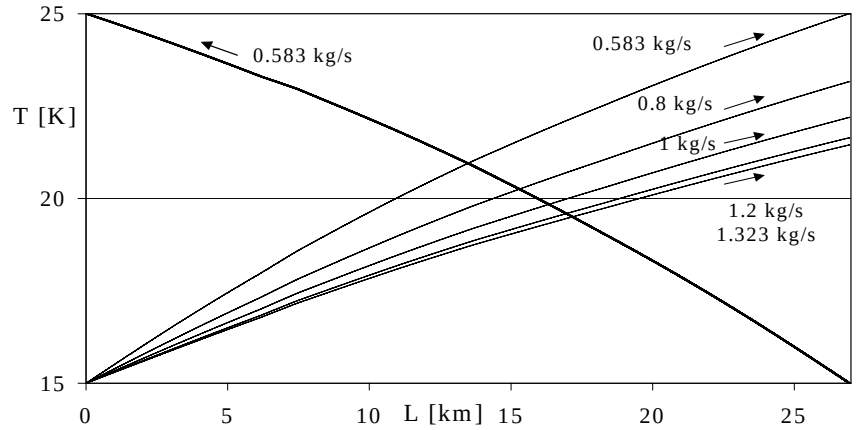


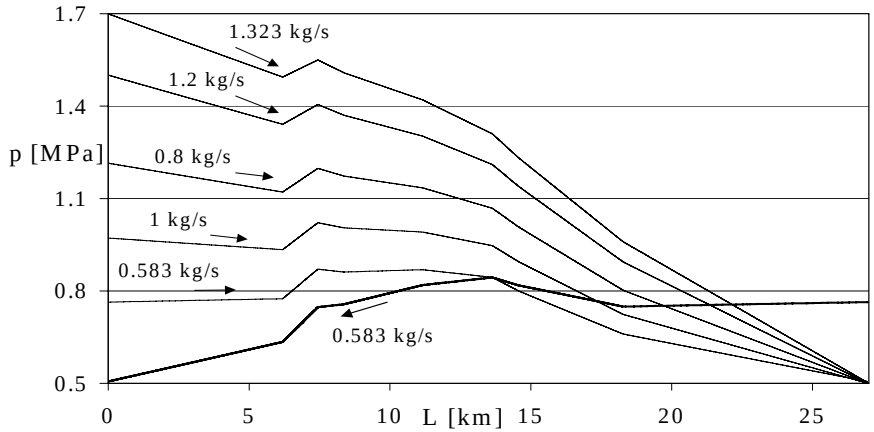
Progetto della linea MgB_2 / LH_2

Andamento di T e p (Camarinal Sill)



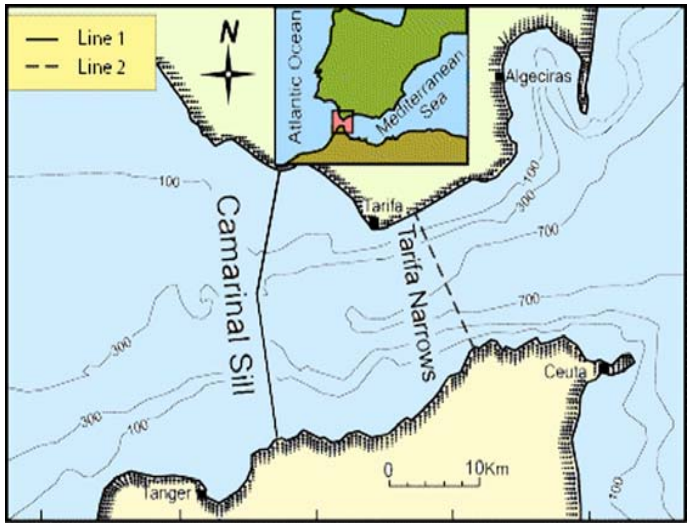


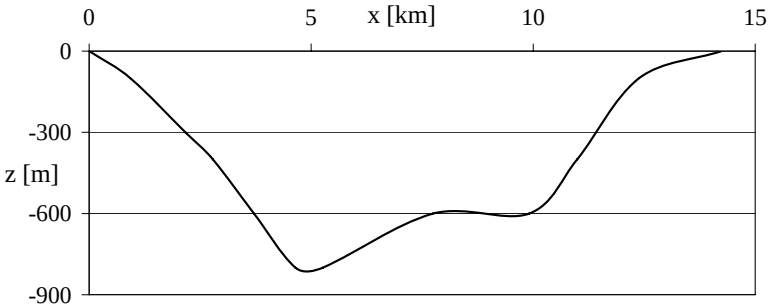


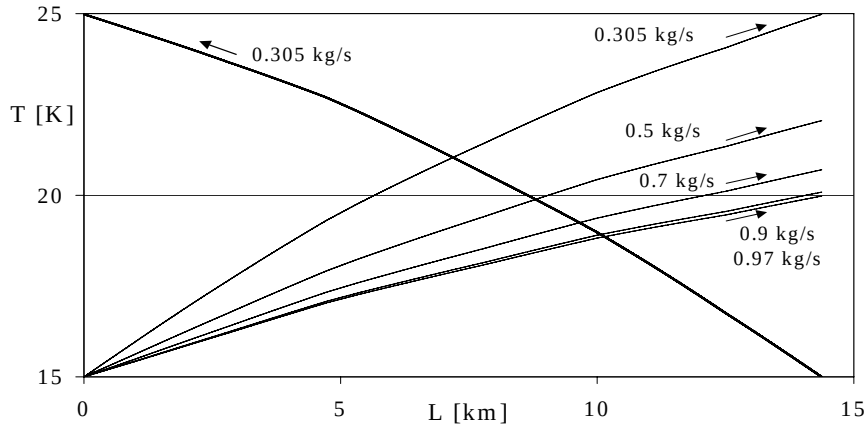


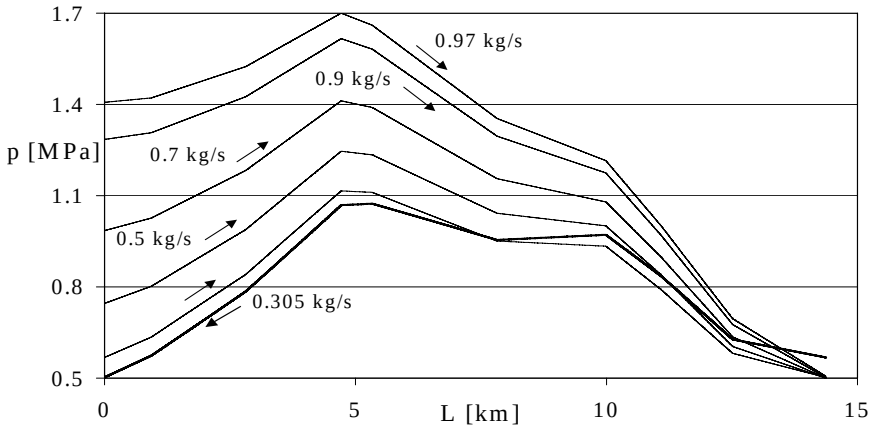
Progetto della linea MgB_2 / LH_2

Andamento di T e p (Tarifa Narrows)



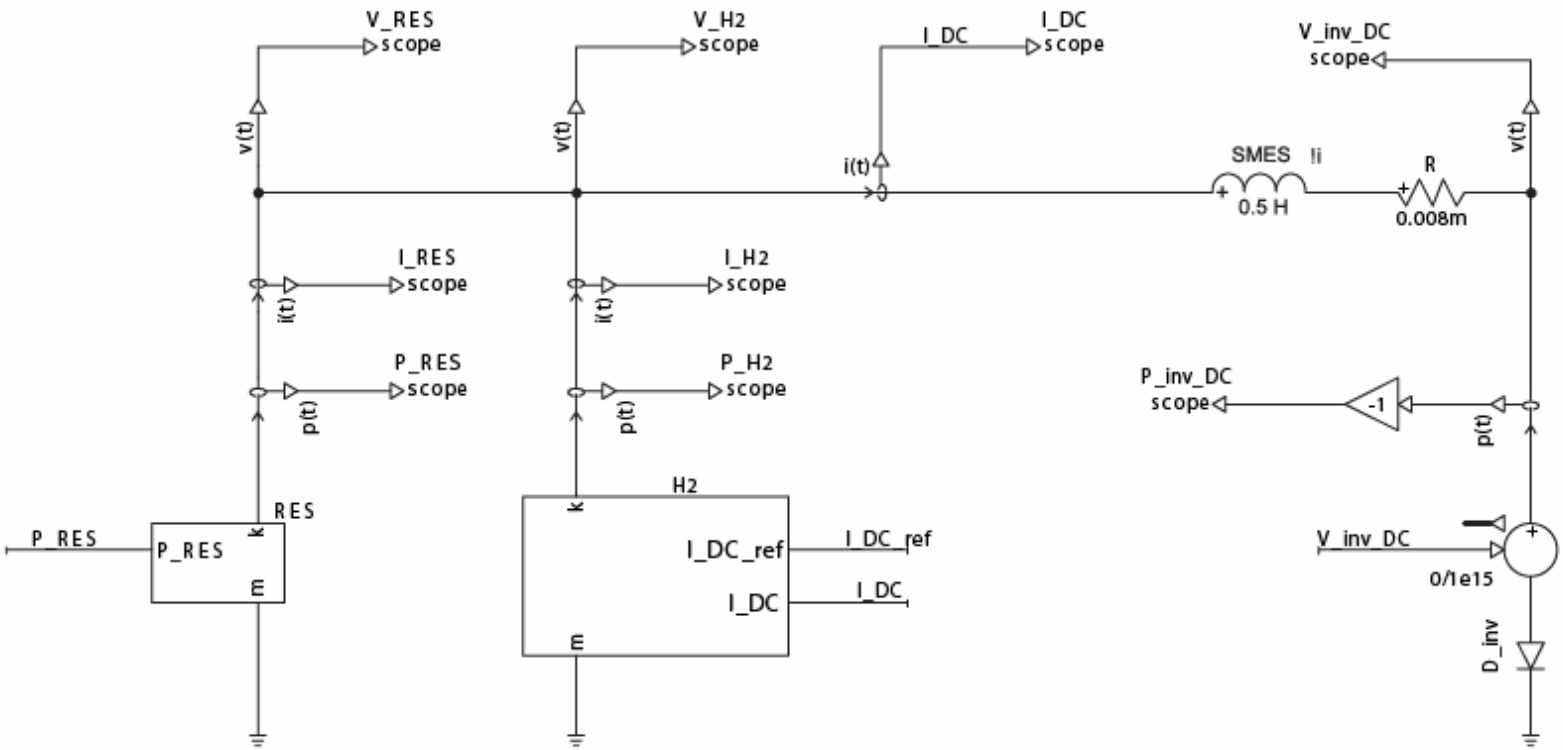






Simulazione del sistema elettrico

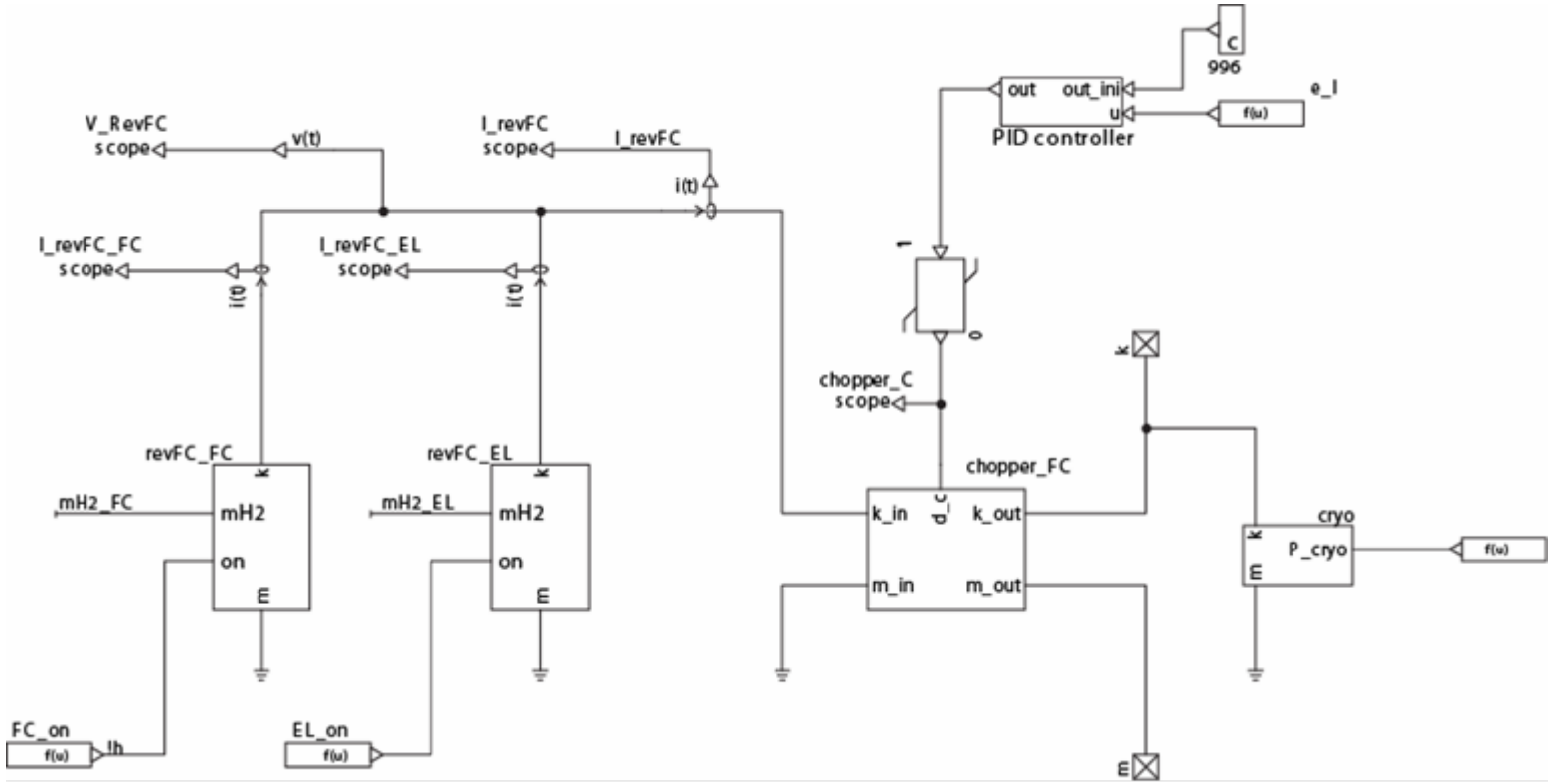
Implementazione in EMTP



Simulazione del sistema elettrico

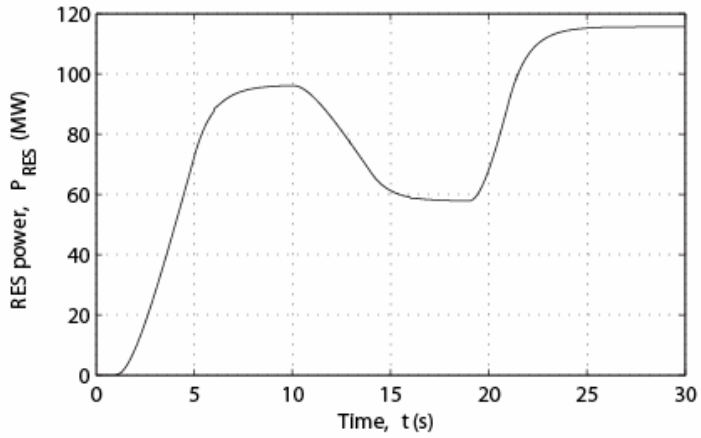
Sistema di accumulo energetico

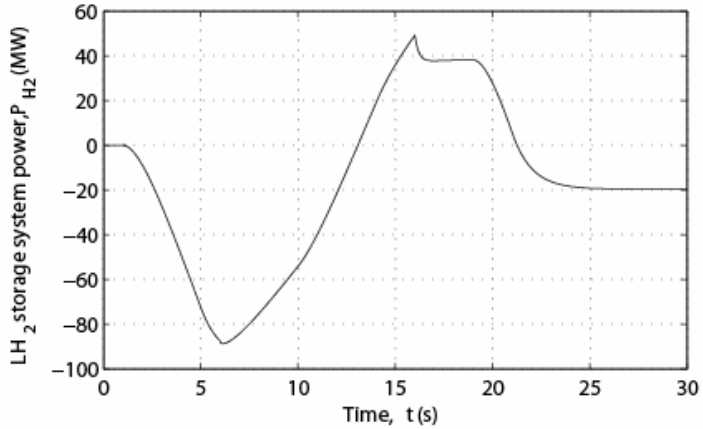
- Sistema di compensazione della potenza con produzione di LH_2.

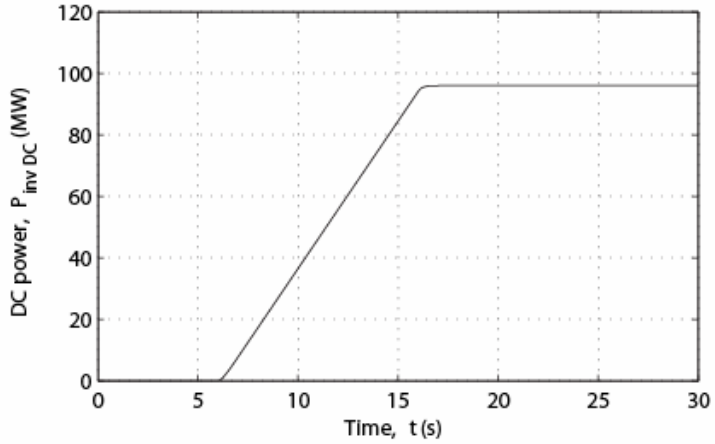


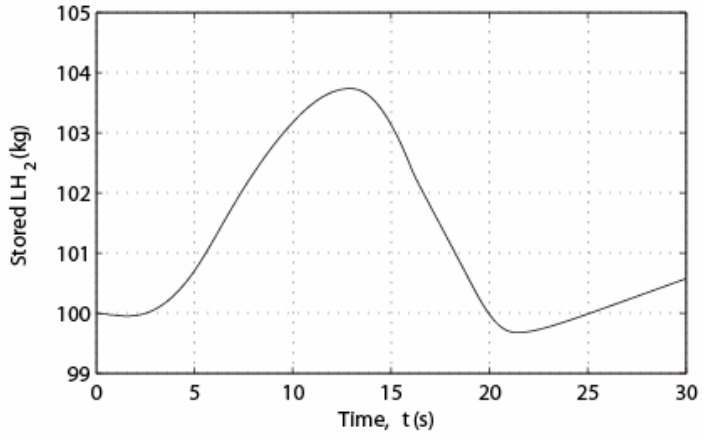
Simulazione del sistema elettrico

Avviamento dell'impianto



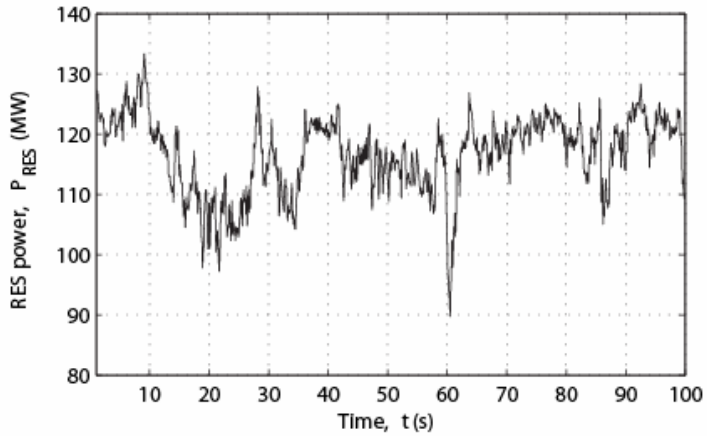


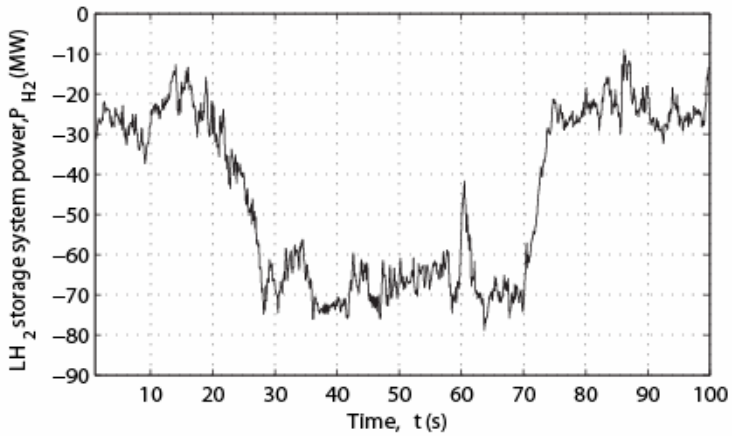


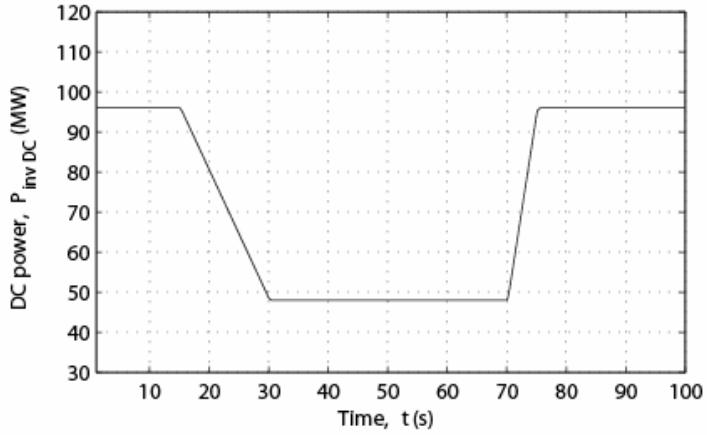


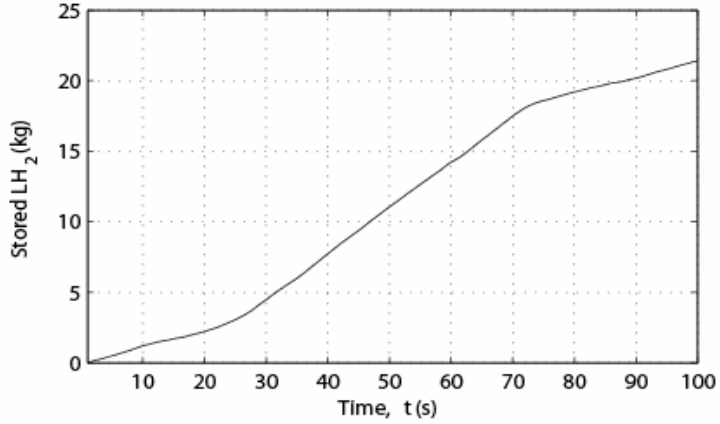
Simulazione del sistema elettrico

Funzionamento con parco eolico





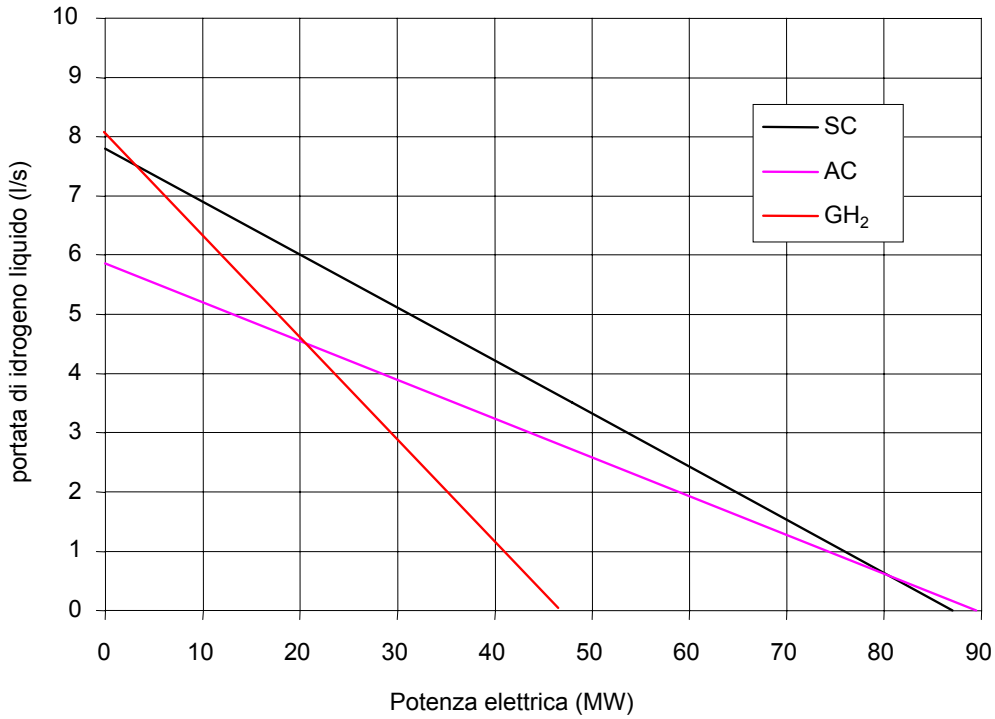




Confronto con sistemi tradizionali

Diagramma P_{el} – LH_2

- Il sistema può risultare energeticamente conveniente in caso di richiesta di LH_2 per l'accumulo energetico nei pressi dell'impianto e da parte delle utenze.



(lunghezza linea 15 km, pot. el. stab. 90 MW)

Conclusioni

1. Lo studio dell'applicazione di un sistema combinato LH_2/MgB_2 è stato eseguito in relazione alla realizzazione di impianti FER su grande scala.
2. Sono state affrontate le principali tematiche di progettazione della linea criogenica, e di funzionamento del sistema elettrico.
3. Il sistema permette la regolazione della potenza FER disponibile con produzione di LH_2 nei periodi di eccedenza di potenza e riconversione parziale in energia elettrica nei periodi di carenza.
4. La quota eccedente di LH_2 prodotto può essere trasportata lungo la linea combinata.
5. Il sistema può risultare energeticamente conveniente nell'ipotesi di sviluppo futuro dell'LH_2 nel mercato energetico.