



IL RUOLO DEI SUPERCONDUTTORI NELL'ECONOMIA DELL'IDROGENO: un sistema Combinato MgB_2/LH_2 per l'Accumulo e il Trasporto su Larga Scala di Energia Prodotta da Fonti Energetiche Rinnovabili



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



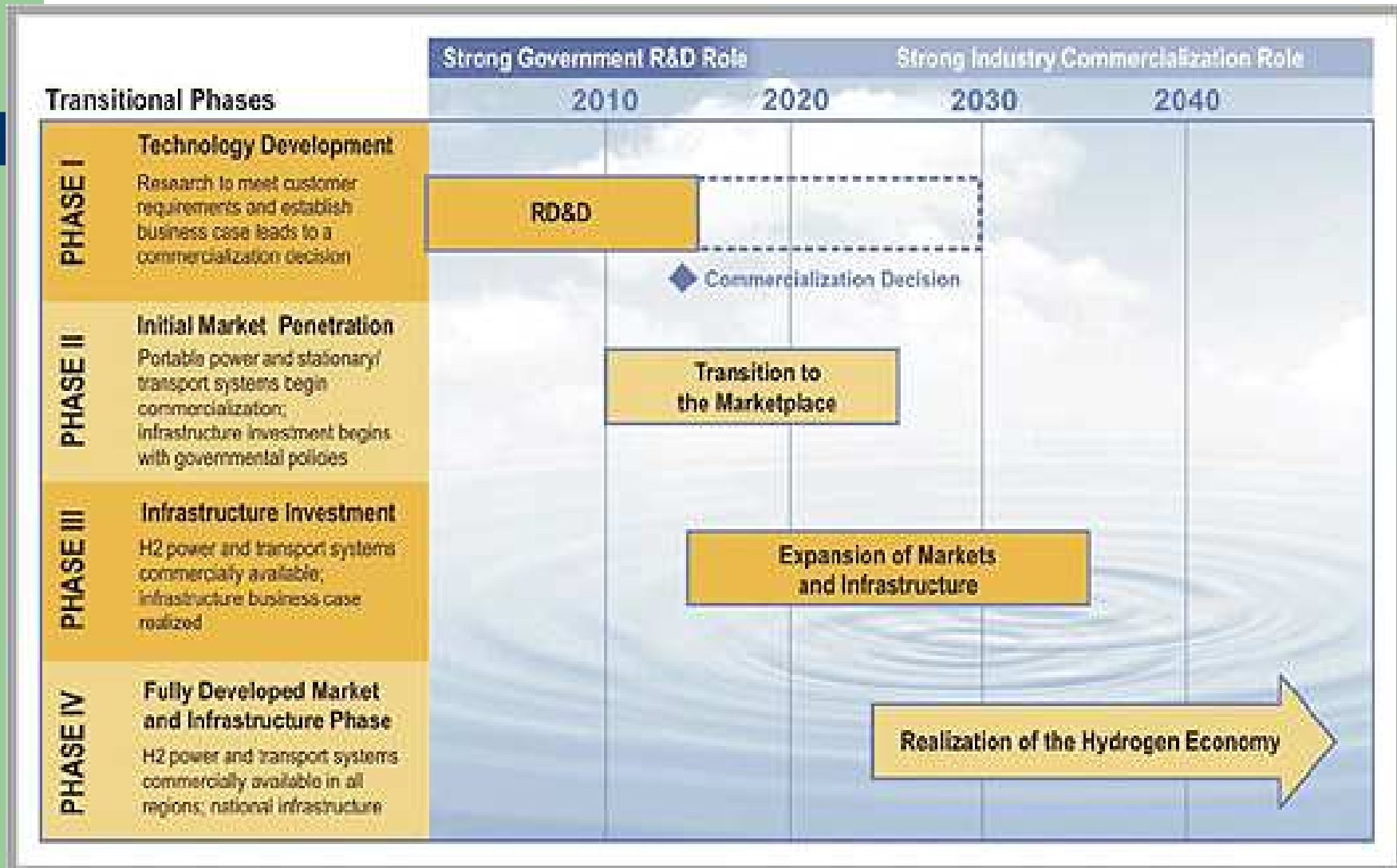
Prof. Ing. Francesco Negrini
Dip. Ingegneria Elettrica
Università di Bologna

4 novembre 2008

IL RUOLO DELL'IDROGENO (I)

- Nei reports della Commissione Europea e degli organismi internazionali più qualificati (IEA, IPCC, US-DOE, WBC, etc.) degli ultimi anni è indicato esplicitamente che l'idrogeno costituisce una soluzione valida per affrontare il controllo delle emissioni e la sicurezza degli approvvigionamenti di energia
- L'IDROGENO PUO' ESSERE VISTO COME UN PONTE VERSO IL FUTURO (attorno al 2050), DOVE LA QUOTA DI ENERGIA FORNITA DALLE FONTI RINNOVABILI ASSUMERA' LA PORZIONE PREVALENTE

Scala dei tempi secondo il DOE-USA



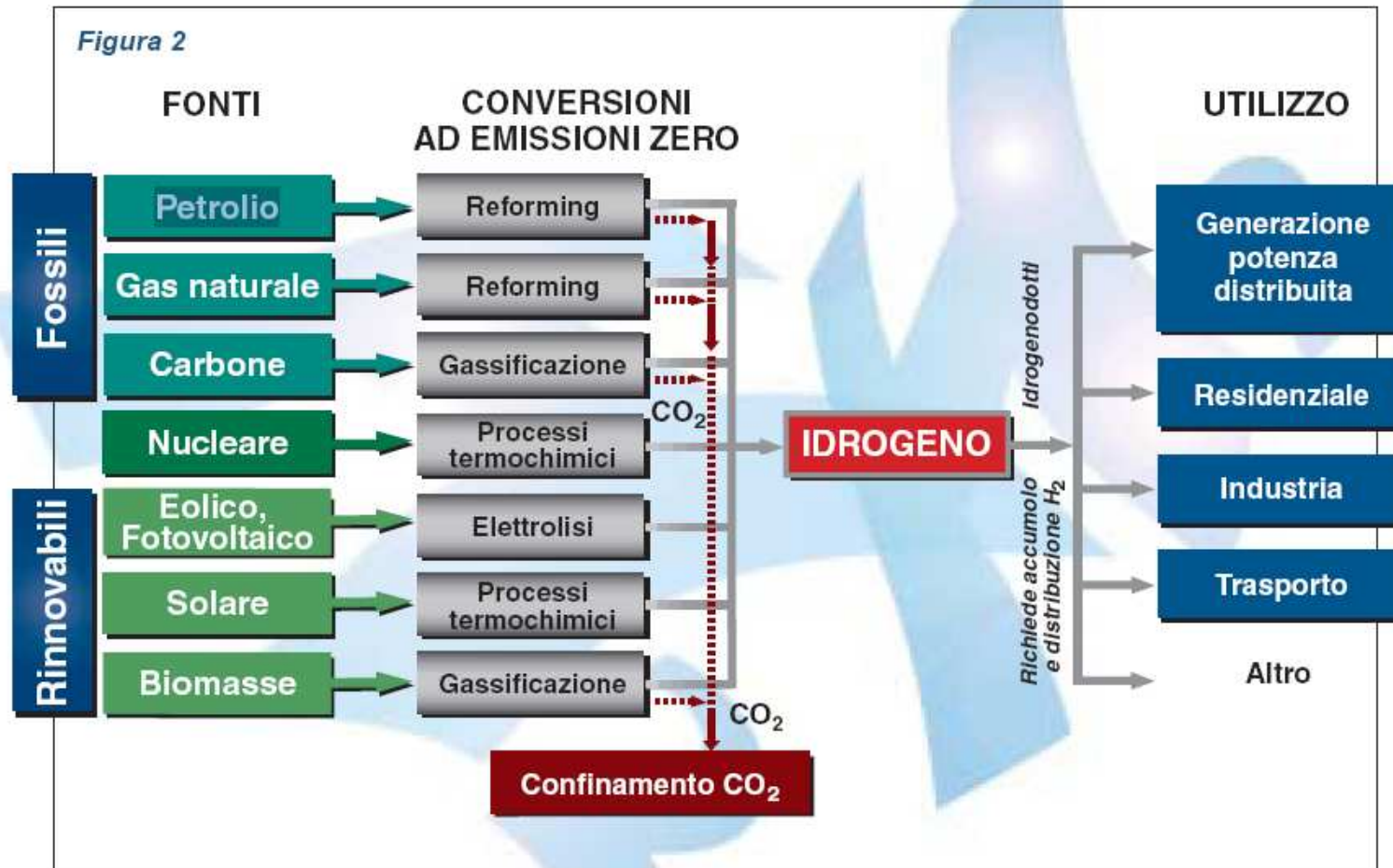
IL RUOLO DELL'IDROGENO (II)

- Il controllo delle riserve di petrolio e metano pone già ora una serie di problemi geo-politici (alcuni sfociati addirittura in conflitti militari) che presumibilmente andranno ad acuirsi nel tempo.
- Uno scenario energetico basato prevalentemente sui combustibili fossili pone molti problemi, in particolare per l'Europa, legati alla sicurezza delle importazioni e al degrado dell'ecosistema.
- La UE25 ritiene opportuna una politica che agisca sulla diversificazione delle fonti energetiche e delle aree di approvvigionamento.
- COSI' COME AVVIENE ATTUALMENTE PER ALTRE FONTI, AD ESEMPIO IL GAS NATURALE, L'IDROGENO PUO' ESSERE IMPORTATO DA PAESI VICINI ED A QUESTO FINE SONO IMPORTANTI LE REGIONI DEL NORD AFRICA.

PERCHÉ L'IDROGENO

- L'idrogeno è il più semplice più leggero più abbondante elemento dell'universo, ma sulla terra è difficile da reperire come elemento isolato e lo si trova essenzialmente combinato all'ossigeno ed al carbonio
- è un gas che brucia nell'aria secondo la semplice reazione:
 $H_2 + 1/2 O_2 = H_2O + \text{calore}$
- può essere prodotto sia da fonti fossili, sia da fonti rinnovabili, sia da fonte nucleare
- può essere distribuito in rete abbastanza agevolmente
- può essere impiegato sia per la produzione di energia elettrica sia per la generazione di calore ed anche per la trazione, con un impatto ambientale quasi nullo

Produzione



DISTRIBUZIONE E TRASPORTO

Un ampio uso dell'idrogeno come vettore energetico richiede una sua disponibilità su larga scala, per le diverse applicazioni e in prossimità del punto d'uso

Distribuzione in forma gassosa

- Trasporto su strada
- Idrogenodotti

Distribuzione in forma liquida



STOCCAGGIO

Accumulo in forma gassosa

Idrogeno in bombole ad alta pressione in materiale composito

Accumulo in forma liquida

Idrogeno in serbatoi criogenici

Accumulo "chimico"

Idruri metallici

Nanostrutture di carbonio

- Nanofibre
- Nanotubi

UTILIZZO

Usi Industriali



Sistemi di generazione stazionaria

- Celle a combustibile
- Turbine



Sistemi per trasporto

- Celle a combustibile
- Motori a combustione interna



CONFINAMENTO DELLA CO₂

Sono allo studio diverse soluzioni per il sequestro della CO₂ come il confinamento geologico in acquiferi salini e giacimenti esauriti di metano o petrolio.

Energia solare: potenzialità

- L'**energia solare** può rappresentare una fonte di primaria importanza nel lungo periodo
- Il **4%** delle **aree desertiche** possono garantire l'intero fabbisogno energetico mondiale (con impianti fotovoltaici, fattore di utilizzo del territorio del 50 %)
- Lo **0.3%** del deserto del **Sahara** equivale (in potenza di picco) alla potenza elettrica totale installata in Europa (700 GW)
- Il **costo** dell'energia prodotta in aree desertiche è stimato conveniente con prezzo dei moduli PV attorno a 2 \$/W.
- La Solar Energy Industries Association (SEIA) prevede che si possa raggiungere questo traguardo attorno al 2030.

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.

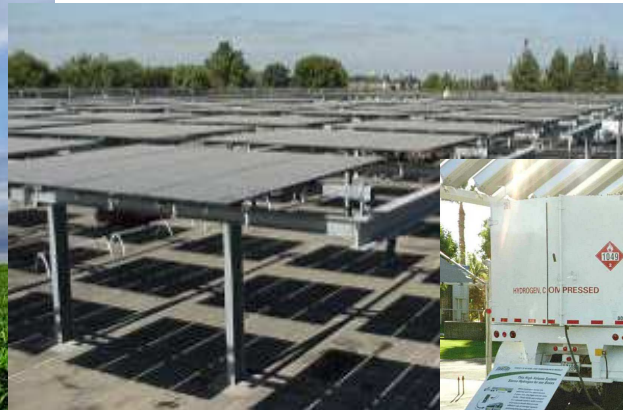
2. FER come l'eolico o il solare sono tipicamente distribuite su vaste aree con bassa densità di potenza per unità di superficie:



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.

L'idrogeno per l'accumulo energetico

- L'idrogeno prodotto per elettrolisi dell'acqua rappresenta un mezzo pulito per l'accumulo di energia rinnovabile.
- Lo stoccaggio in forma liquida (LH₂) permette di raggiungere grandi densità energetiche (3200 m³ = 90 GWh_{PCS})



Stoccaggio e trasporto dell'idrogeno

- Il mercato dell'idrogeno é già oggi una realtà: industrie metallurgiche, raffinerie, industrie chimiche, industria del cibo, e di elettronica (50 milioni di tonnellate all'anno)



- GH₂: 14.5 kg/m³ a 200 bar (4.2 kg/m³ considerando volume delle bombole)



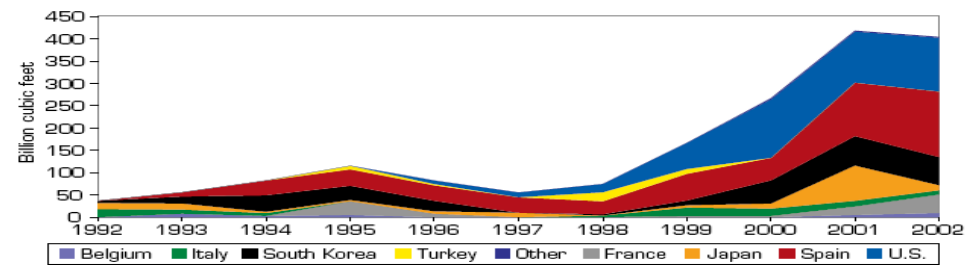
- LH₂: 70.8 kg/m³ a 20 K (serbatoio più grande al mondo 3200 m³ a Cape Canaveral)

Uno sguardo al mercato attuale di LNG

- Quote crescenti del trasporto internazionale di gas naturale in forma liquida (LNG): 26% nel 2007 [EIA].

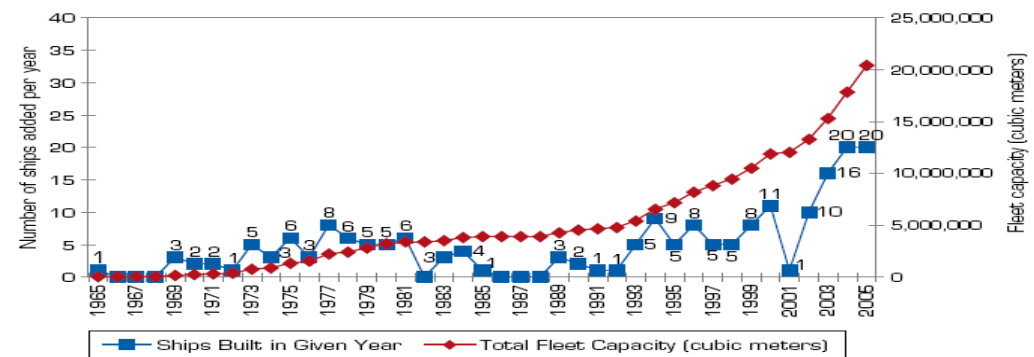


Short-Term Contracts by LNG Importing Countries, 1992–2002



Source: Petrostrategies

LNG Tanker Fleet, 1965–2006



Source: LNG Shipping Solutions

Cavi superconduttivi

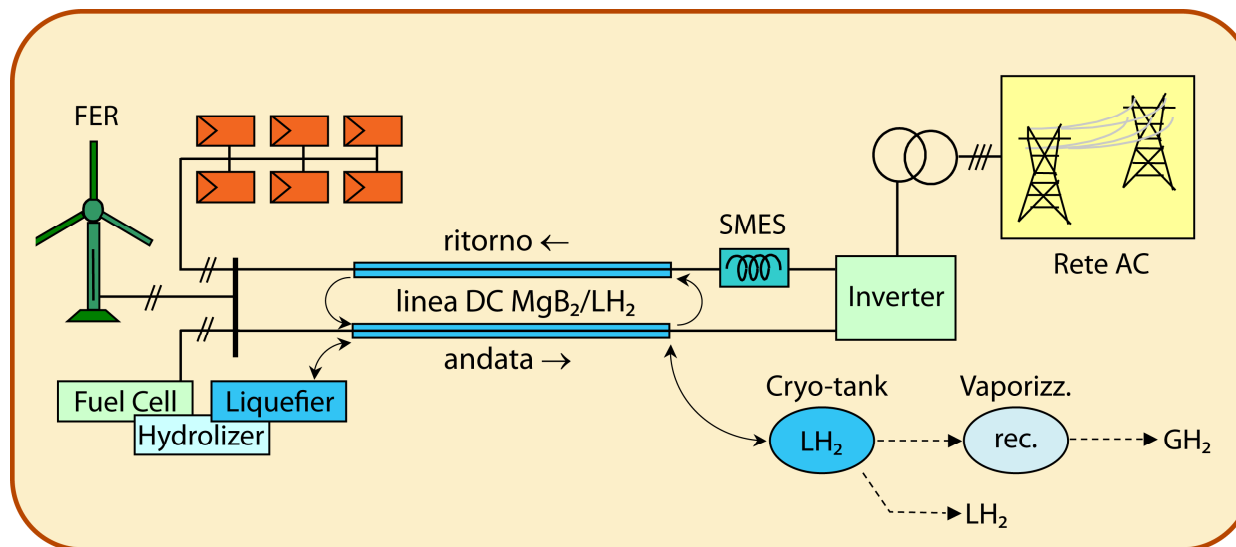
- Cavi superconduttivi permettono il trasporto efficiente di **grandi potenze elettriche**. Assenza di perdite in DC, mentre occorre considerare la **potenza di refrigerazione**.
- Linee DC SC sono state proposte negli anni '60, utilizzando materiali **LTS** a **4K** (costo ↓ ~1 \$/kA-m; raffreddamento ↑).
- Negli anni '80 sono stati scoperti materiali **HTS** che possono operare a **77K** (costo ↑ ~50 \$/kA-m; raffreddamento ↓↓).
- Nel marzo 2001, è stata annunciata la scoperta del **nuovo materiale MgB₂**, che può operare per applicazioni pratiche fino a circa **25K** (costo ↓ ~1 \$/kA-m; raffreddamento ↓).

Diboruro di magnesio

- Facilmente lavorabile (si possono produrre fili)
- Tecnologia di produzione nota
- Basso costo
- Temperatura critica compatibile con quella dell'idrogeno liquido
- Proprietà elettriche non ottimali ad elevati campi magnetici

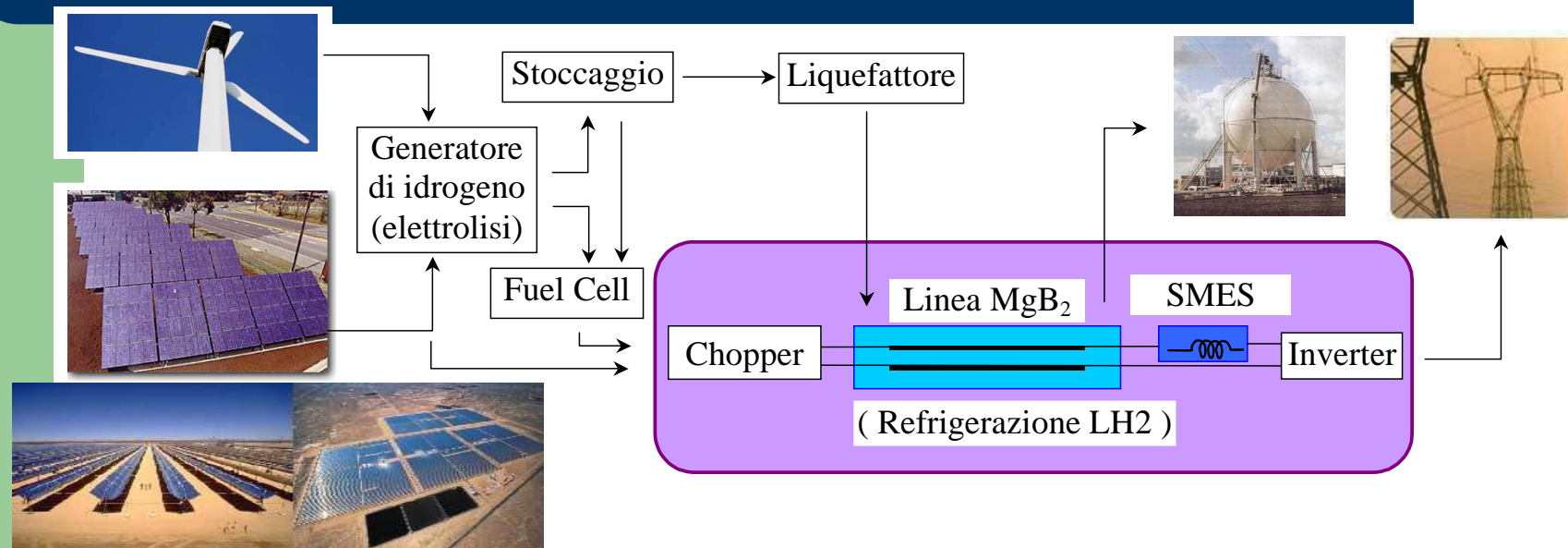
Progetti Europei Resist e Resilhys (2003-2004)

Il sistema combinato $\text{MgB}_2 / \text{LH}_2$



- 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.

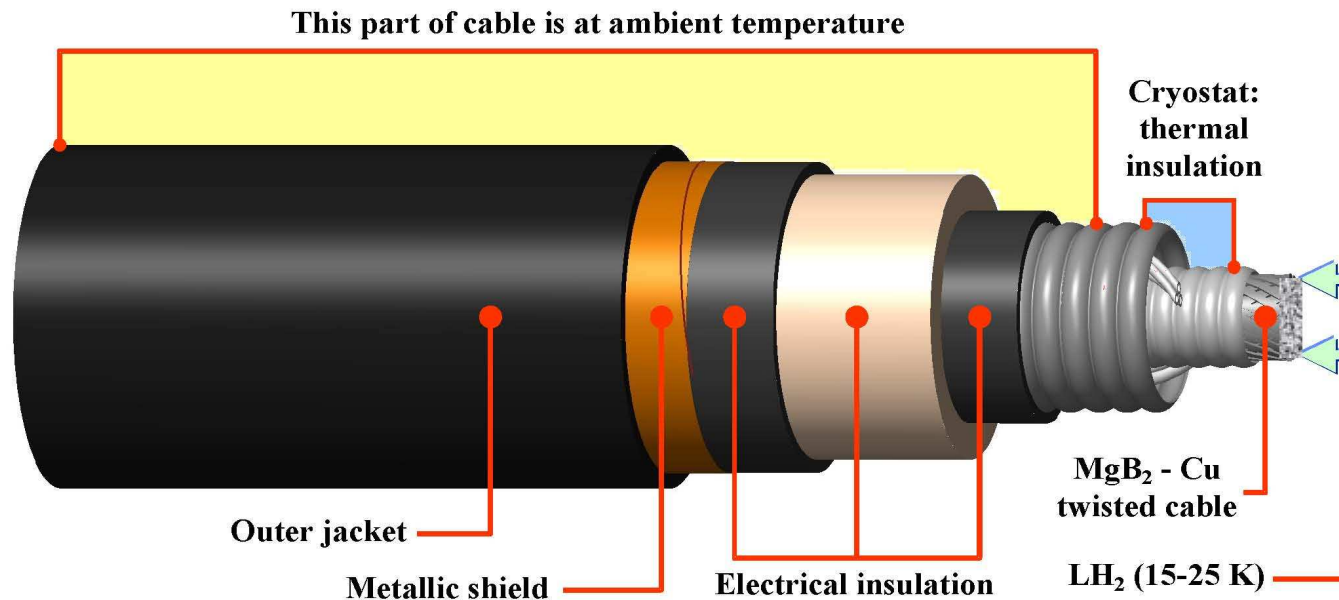
Uso ottimale delle fonti di energia rinnovabili



Collegare un campo di generatori eolici e/o fotovoltaici e/o a concentrazione situati in una zona isolata alla rete di distribuzione in M.T.

La linea combinata MgB_2 / LH_2

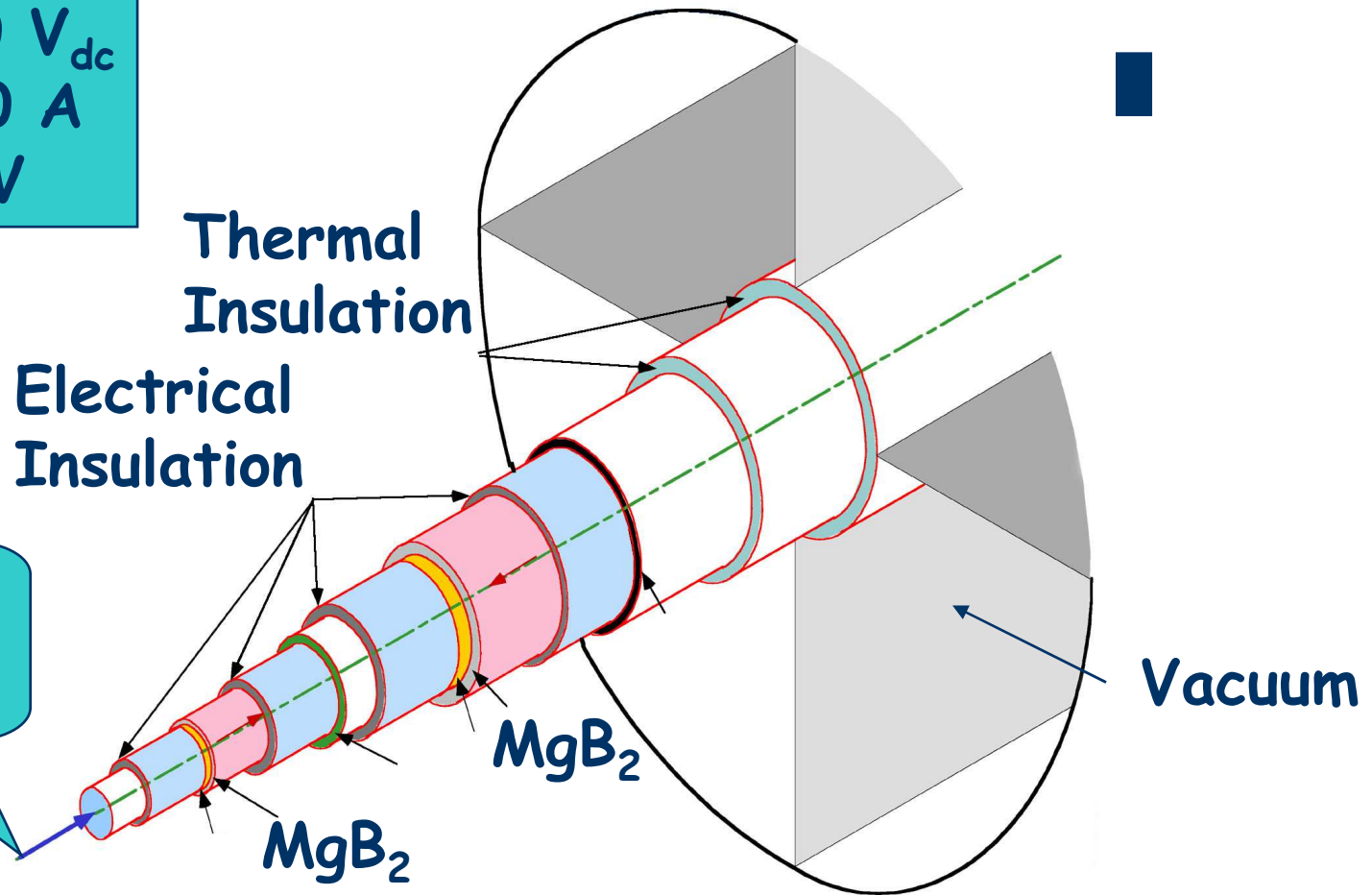
- La temperatura di funzionamento dell' MgB_2 permette l'utilizzo dell' LH_2 per il raffreddamento (bassa viscosità $\rightarrow \Delta p \downarrow$).
- Si ottiene una **linea combinata** per il trasporto di potenza elettrica e chimica (LH_2).



“The Energy Pipeline”

$\pm 50,000 \text{ V}_{dc}$
100,000 A
10 GW

Liquid H_2
@ 21 K

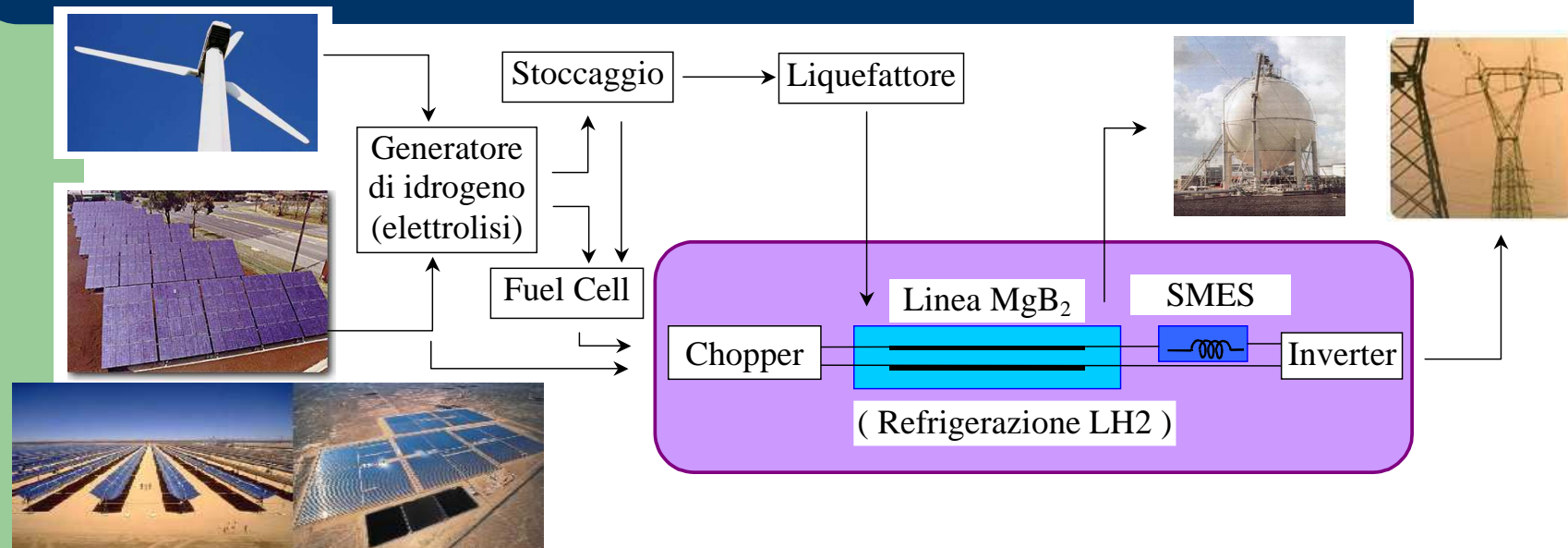


THE ENERGY PIPELINE

UNA COPPIA DI CAVI SUPERCONDUTTORI IN CORRENTE CONTINUA (± 50 KV) PER UNA CORRENTE MASSIMA TOTALE DI 100 KA POTREBBE TRASMETTERE CIRCA **10 GW DI POTENZA ELETTRICA** PER DIVERSE CENTINAIA DI CHILOMETRI CON UNA RESISTENZA ED UNA DISPERSIONE PRATICAMENTE NULLE.

UNA NUOVA RETE ELETTRICA DI TRASMISSIONE CON LH2 PERMETTEREBBE, OLTRE A DISTRIBUIRE ENERGIA ELETTRICA, DI IMMAGAZZINARE ENERGIA: AD ESEMPIO UN SEGMENTO DI UN CAVO LUNGO 100 KM COMPOSTO DI TUBI DI 40 CM DI DIAMETRO RIEMPITI DI IDROGENO LIQUIDO POTREBBE **IMMAGAZZINARE 50 GWH DI ENERGIA** (CHE CORRISPONDE AI CONSUMI GIORNALIERI DI UNA CITTA' DI ALMENO 600 000 PERSONE)

Uso ottimale delle fonti di energia rinnovabili



Collegare un campo di generatori eolici e/o fotovoltaici e/o a concentrazione situati in una zona isolata alla rete di distribuzione in M.T.

IMPIANTI SOLARI TERMOELETRICI A CONCENTRAZIONE

1. BASATI SULLA TECNOLOGIA “A TORRE CENTRALE E CAMPO DI SPECCHI” PERMETTONO DI RAGGIUNGERE ELEVATI RAPPORTI DI CONCENTRAZIONE.

- IL CICLO E' AFFIDATO AD UN FLUIDO TERMOVETTORE CHE PUO' FUNGERE ANCHE DA ACCUMULATORE TERMICO.

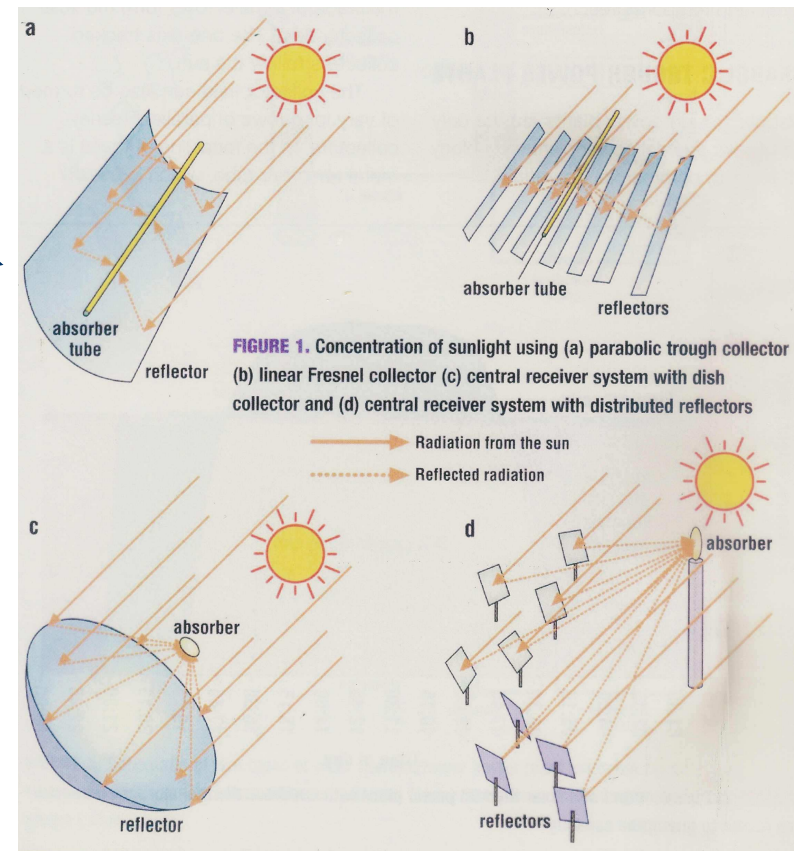
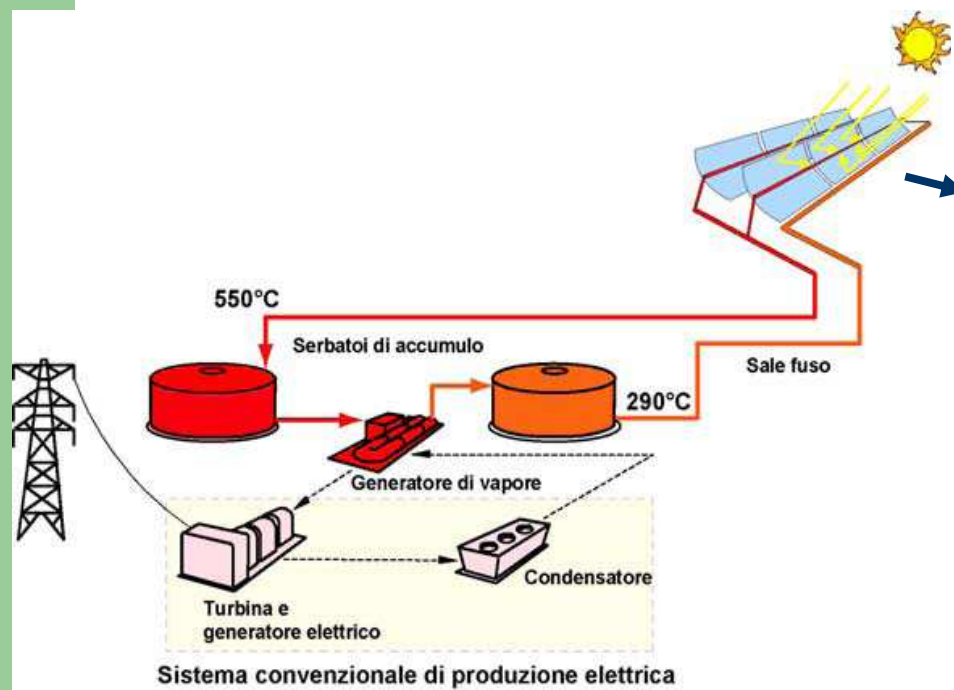
-LE POTENZE MASSIME RAGGIUNGIBILI SONO DELL'ORDINE DI VARIE CENTINAIA DI MW PER RICEVITORE.

2. LA TECNOLOGIA SOLARE DEI “COLLETTORI PARABOLICI A FUOCO LINEARE” HA LA POSSIBILITA' DI INSEGUIRE LA RADIAZIONE SOLARE SU UN SOLO ASSE DI ROTAZIONE E RAGGIUNGE FATTORI DI CONCENTRAZIONE INFERIORI.

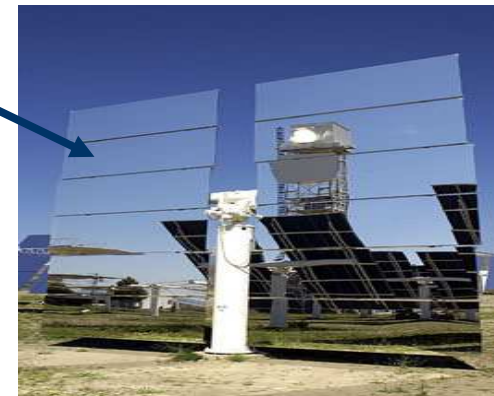
-A DIFFERENZA DEGLI IMPIANTI A TORRE I COLLETTORI PARABOLICI LINEARI PERMETTONO UNA MAGGIORE MODULARITA' DEGLI IMPIANTI CHE QUINDI IN TEORIA NON HANNO LIMITI SUPERIORI PER LA PROPRIA POTENZA.

3. LA TECNOLOGIA DEI “CONCENTRATORI PARABOLICI A FUOCO PUNTIFORME” CONSENTE I PIU' ALTI RAPPORTI DI CONCENTRAZIONE CON CONSEGUENTI ALTE TEMPERATURE; IL LIMITE INTRINSECO E' LA BASSA POTENZA EROGABILE DELL'ORDINE AL MASSIMO DI QUALCHE CENTINAIO DI KW PER RICEVITORE.

Tipologie di Concentratori (CSP)



CSP a Torre Centrale



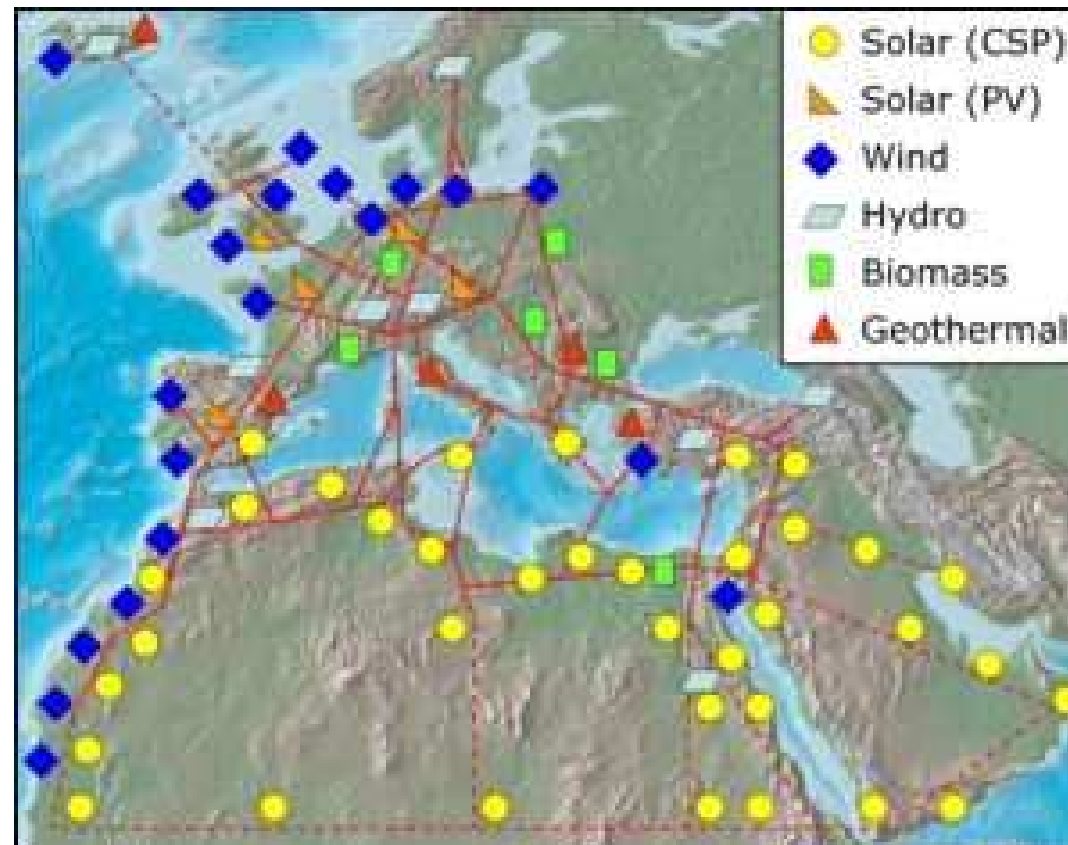
CSP Parabolico a Fuoco Lineare



CSP a Fuoco Puntiforme



Schema delle fonti rinnovabili



Case Study

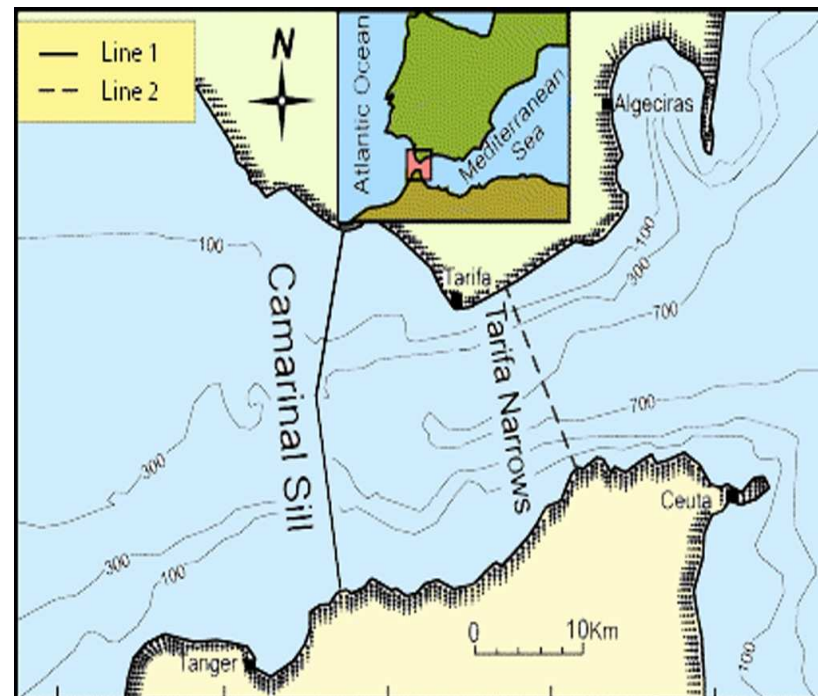
Collegamento Nord Africa – Europa (stretto di Gibilterra)

Dati

Potenza elettrica nominale
(~100 MW, 12 kA, ± 4 kV)

Portata LH₂ trasportabile
(0 – 0.7 kg/s)

Distanza stazioni di
pompaggio/refrigerazione
(15–25 km)



Schema della rete di trasmissione in CC





Grazie per l'attenzione