www.dii.unipd.it

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale
«Trasmissione dell'energia elettrica con tecnologia HVDC: focus sulle tecnologie di conversione e sulle perdite di potenza»

Tutor universitario: Prof. Roberto Benato

Laureando: *Andrea Prenc, 2040162*

Padova, 22/09/2025

TRASMISSIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA MEDIANTE HVDC

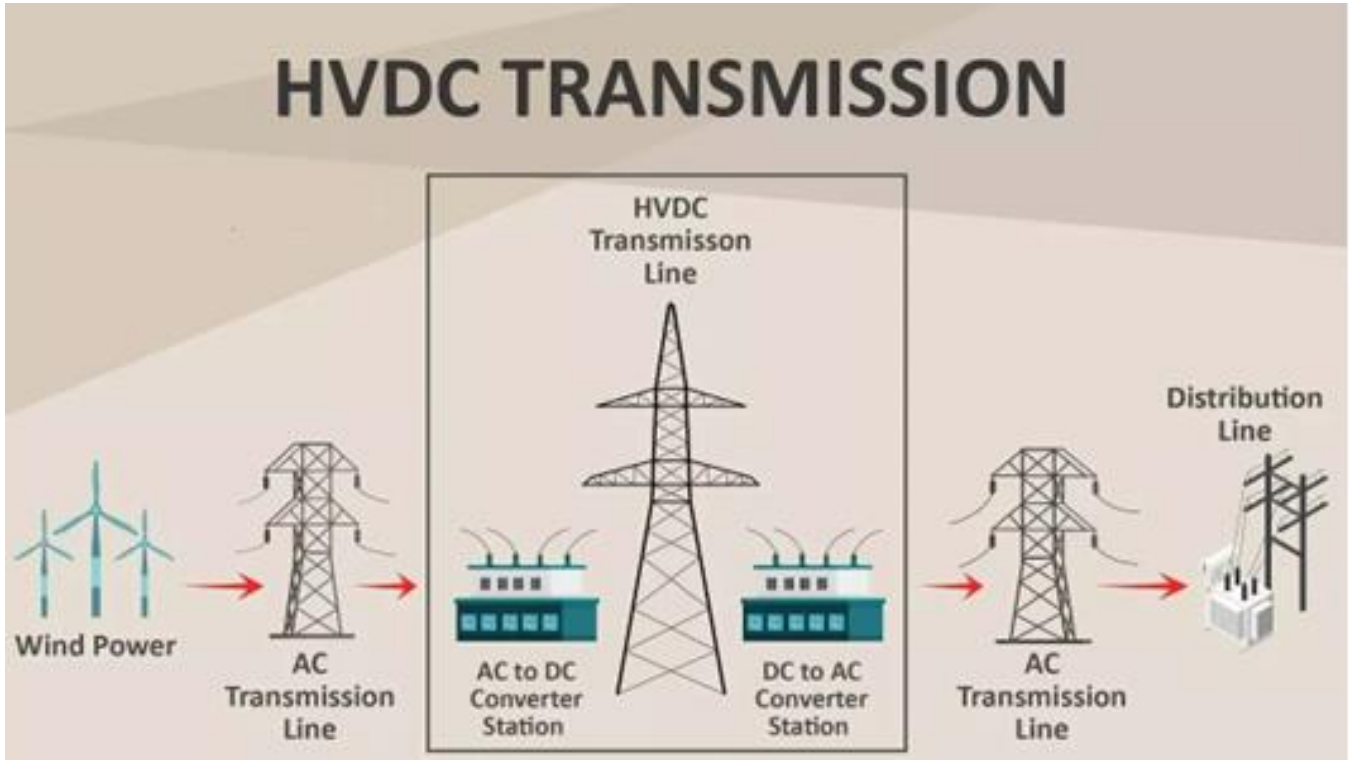
Introduzione

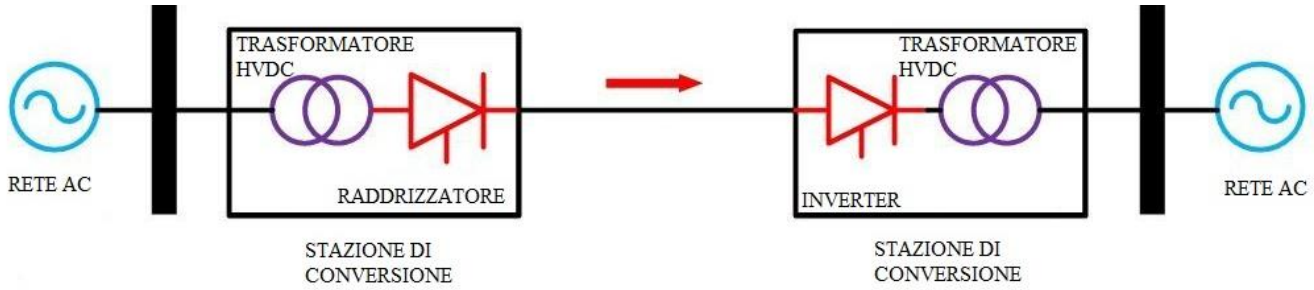
HVDC
- Configurazioni
- Tipi di Ritorno
- Ingombro
- Economia

Tecnologie di Conversione

Perdite di Potenza

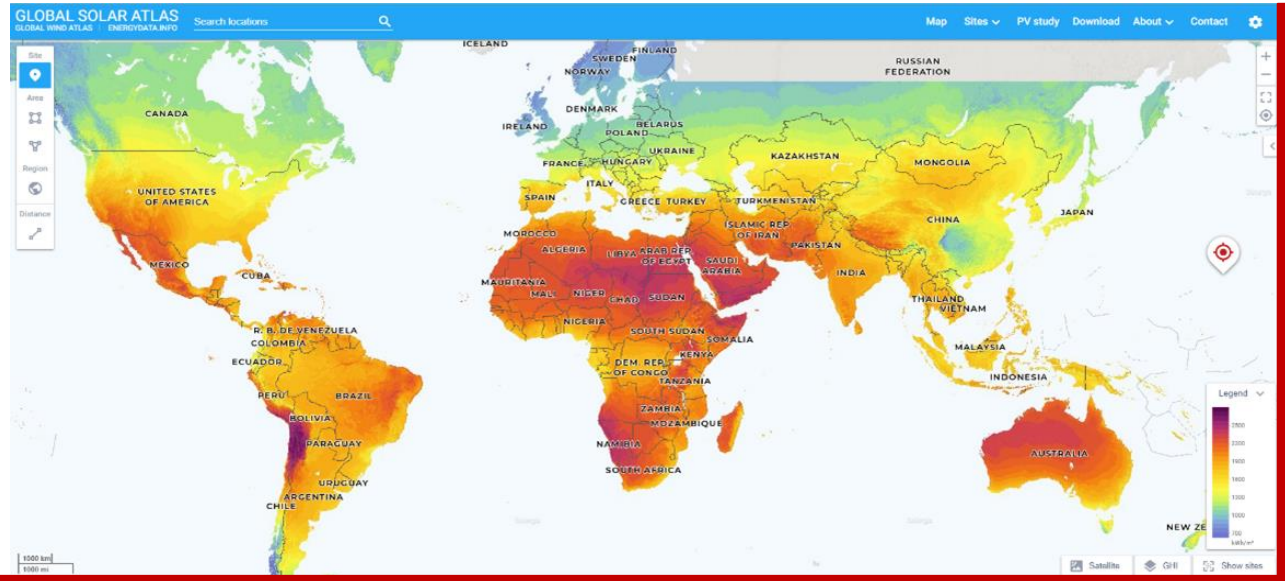
Conclusioni

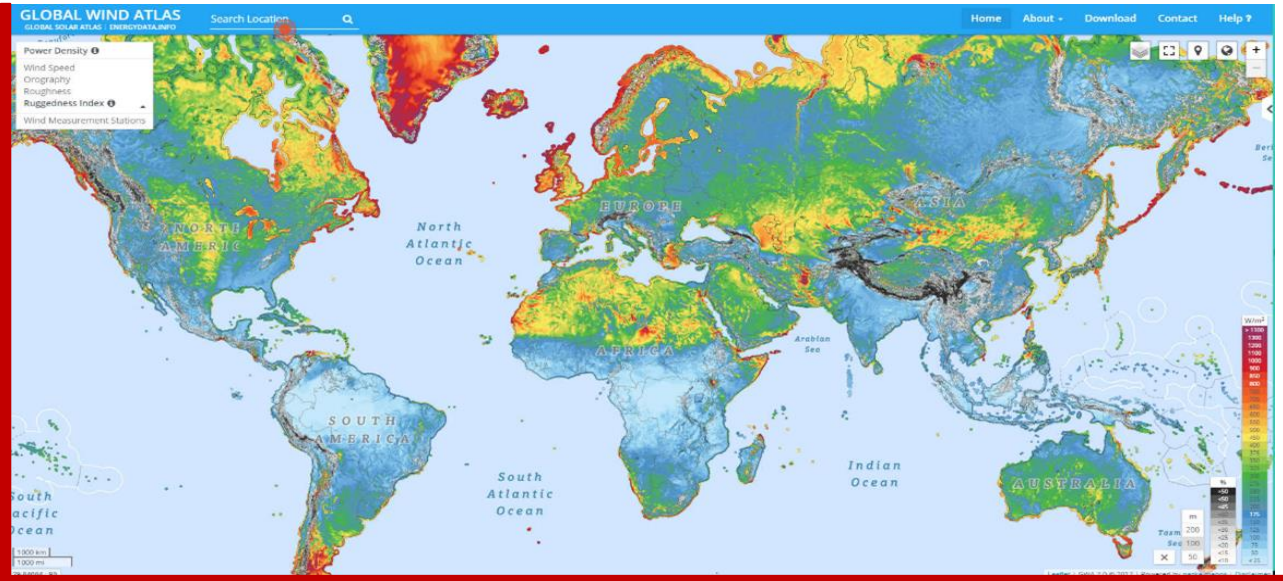


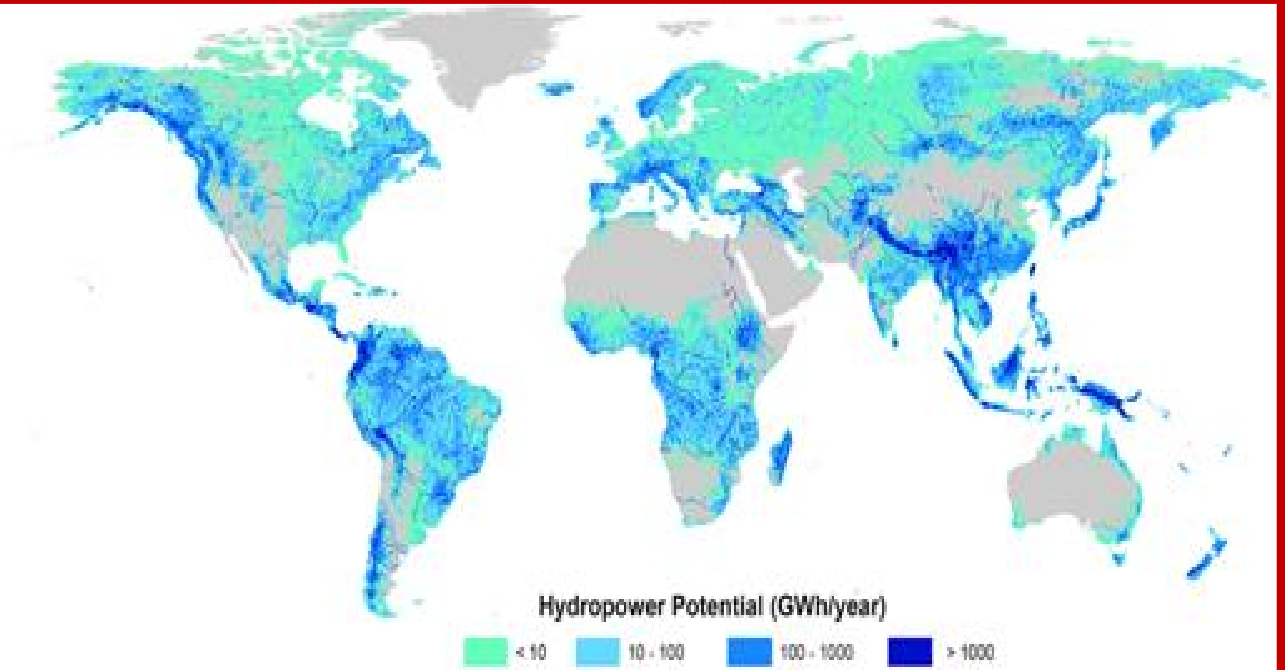


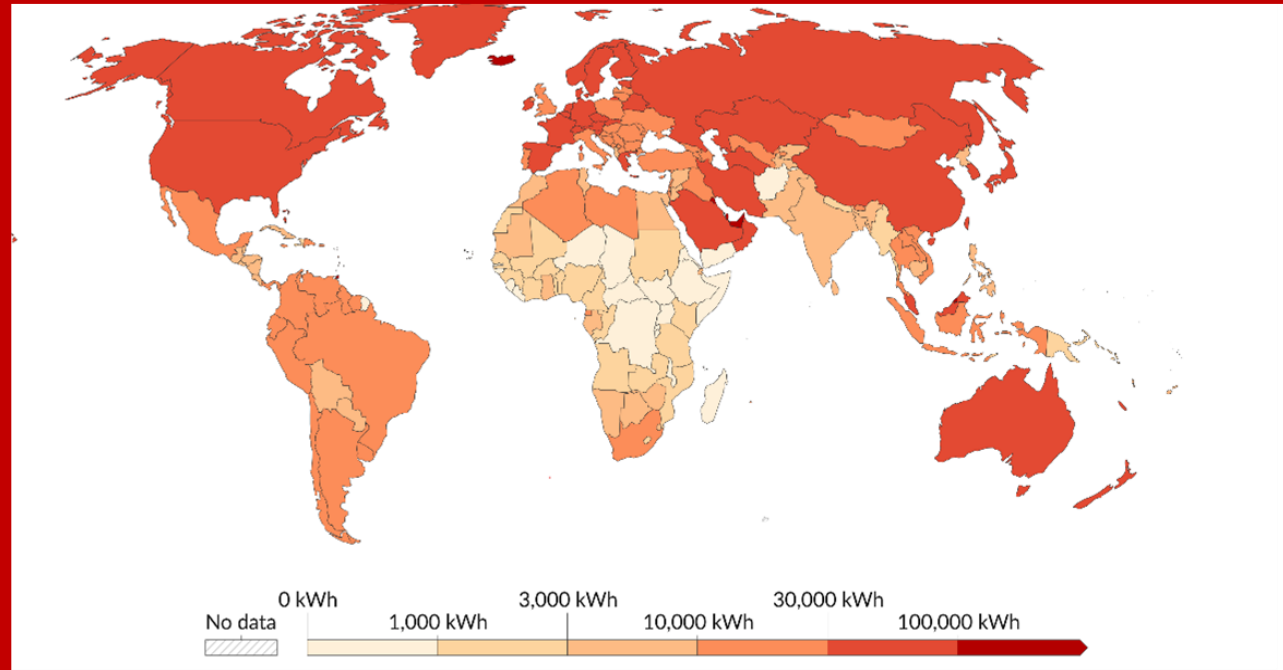
www.dii.unipd.it

INTRODUZIONE









PRO E CONTRO HVDC

TRASMISSIONE SU LUNGHE DISTANZE

MAGGIORE CAPACITÀ DI TRASMISSIONE

CONTROLLO RAPIDO E BIDIREZIONALE DEL FLUSSO DI POTENZA

NESSUN AUMENTO DELLA POTENZA DI CC

INTERCONESSIONE DI SISTEMI ASINCRONI

VANTAGGI AMBIENTALI

ALTO COSTO DELLE STAZIONI DI CONVERSIONE

DOMANDA DI POTENZA REATTIVA

PERTURBAZIONE DEL SISTEMA AC

CAPACITÀ DI SOVRACCARICO LIMITATA

SENSIBILITÀ AI GUASTI NEL TRATTO DC

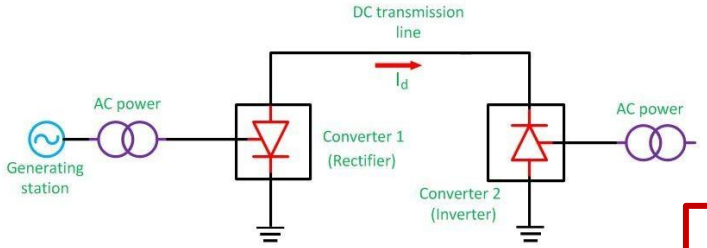
LIMITATA CAPACITÀ DI FUNZIONAMENTO MULTITERMINALE

PANORAMICA HVDC

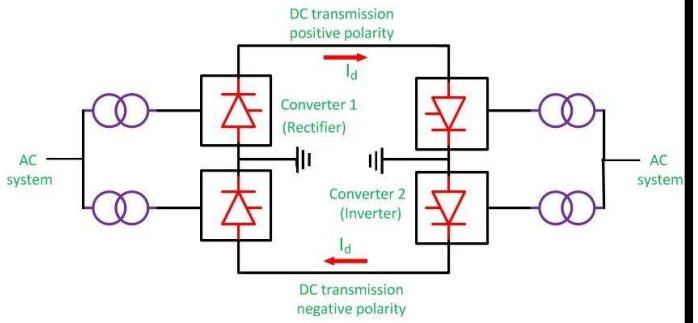
www.dii.unipd.it

Configurazioni

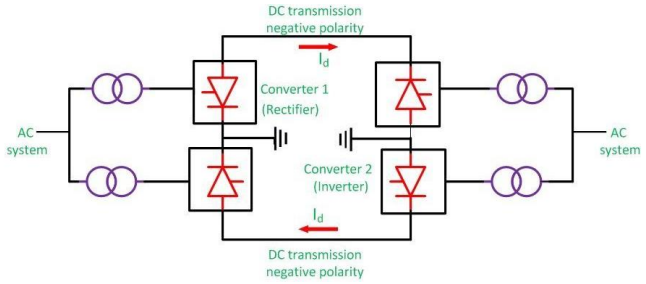
Monopolare



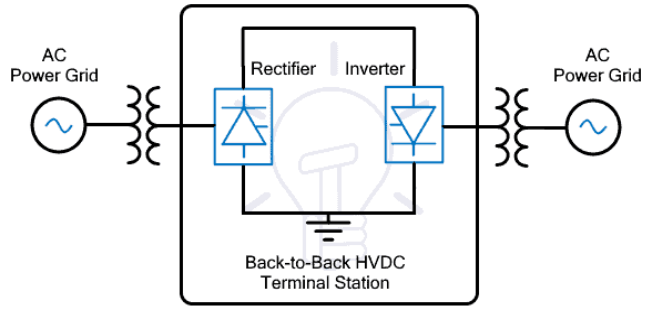
Bipolare



Omopolare



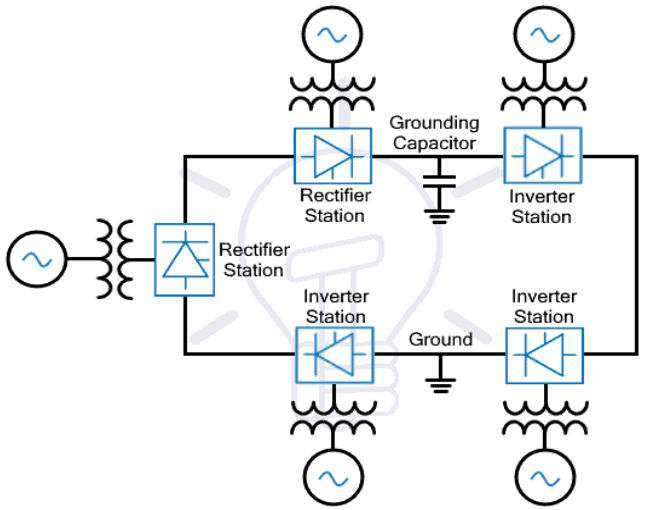
Back-to-Back



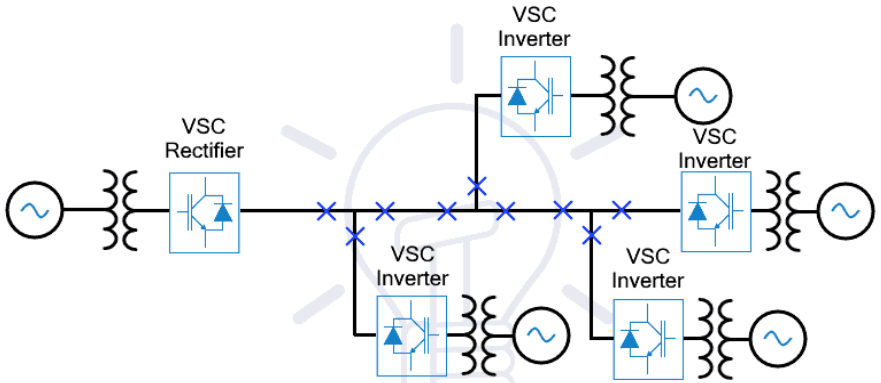
PANORAMICA HVDC

www.dii.unipd.it

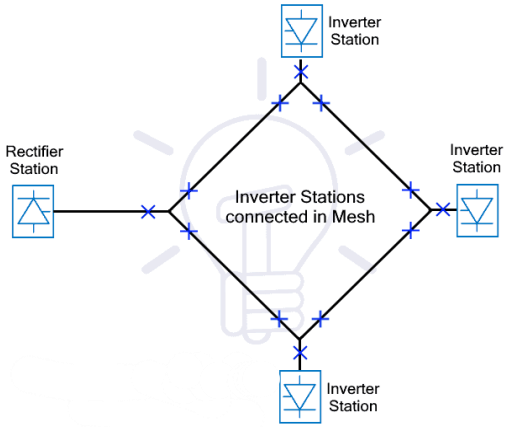
MTDC Serie



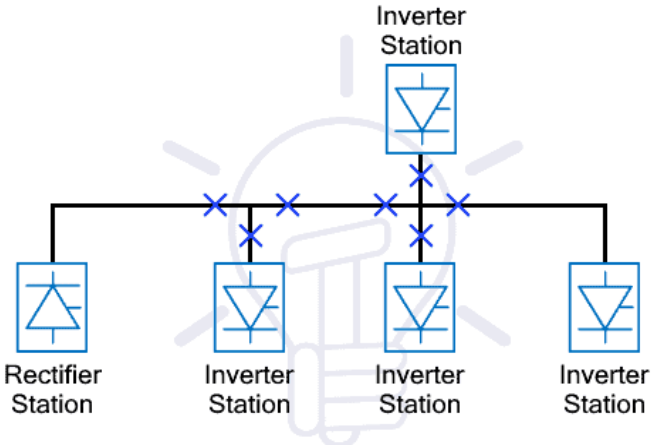
MTDC Parallelo



MTDC Magliato



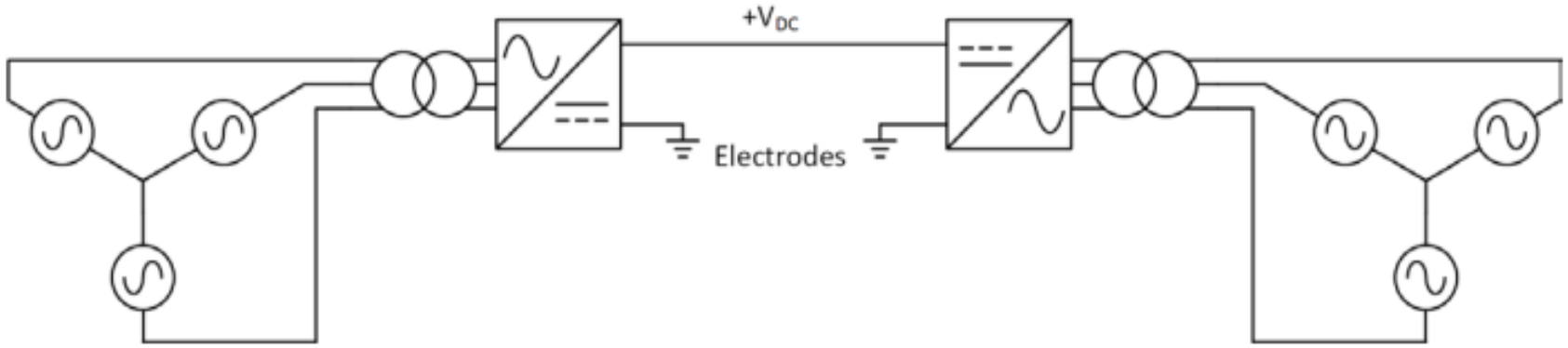
MTDC Radiale



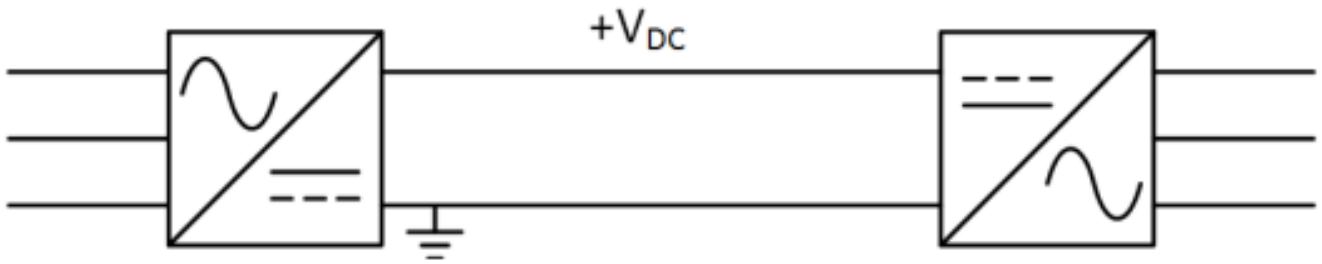
MODALITÀ DI RITORNO

www.dii.unipd.it

RITORNO VIA TERRA/MARE

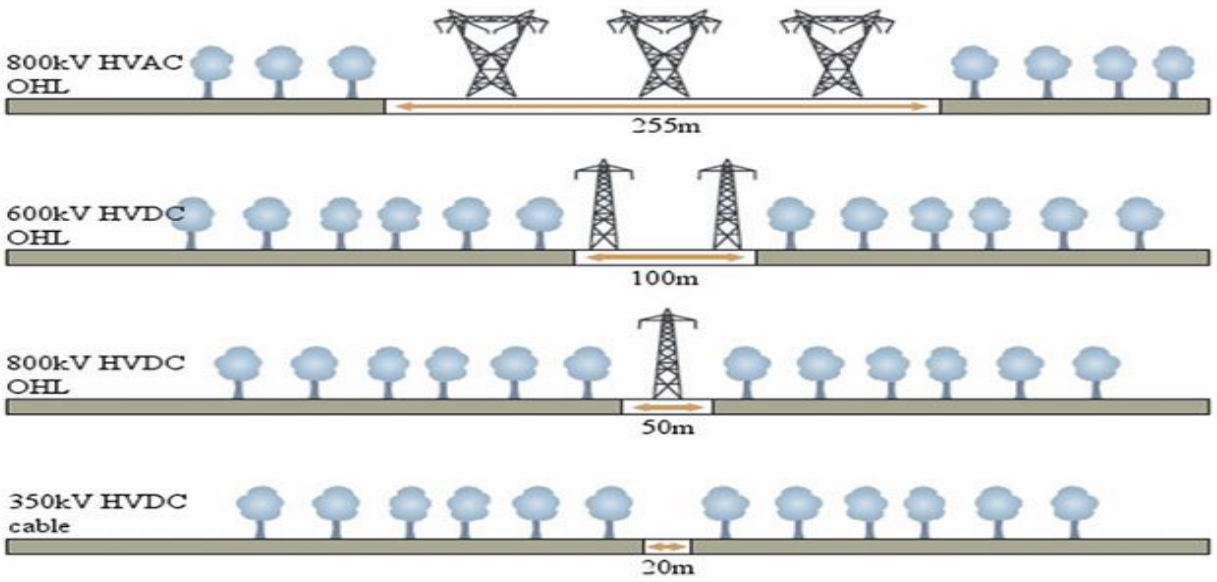


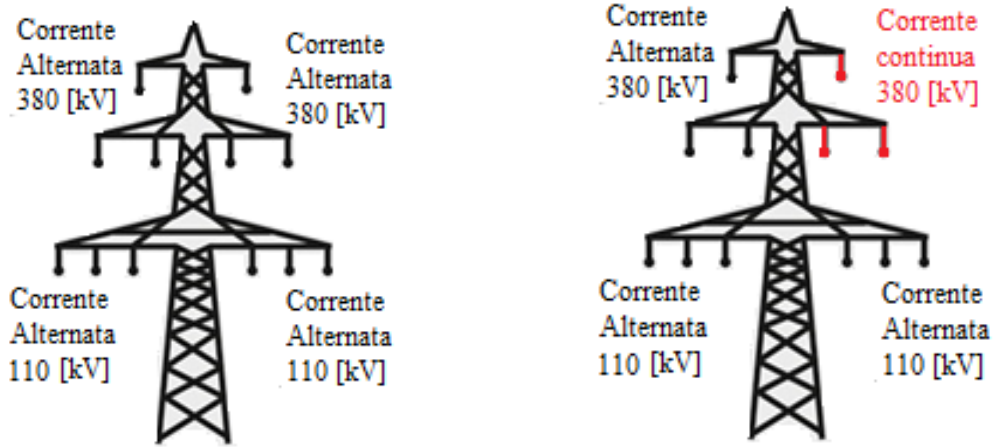
RITORNO METALLICO



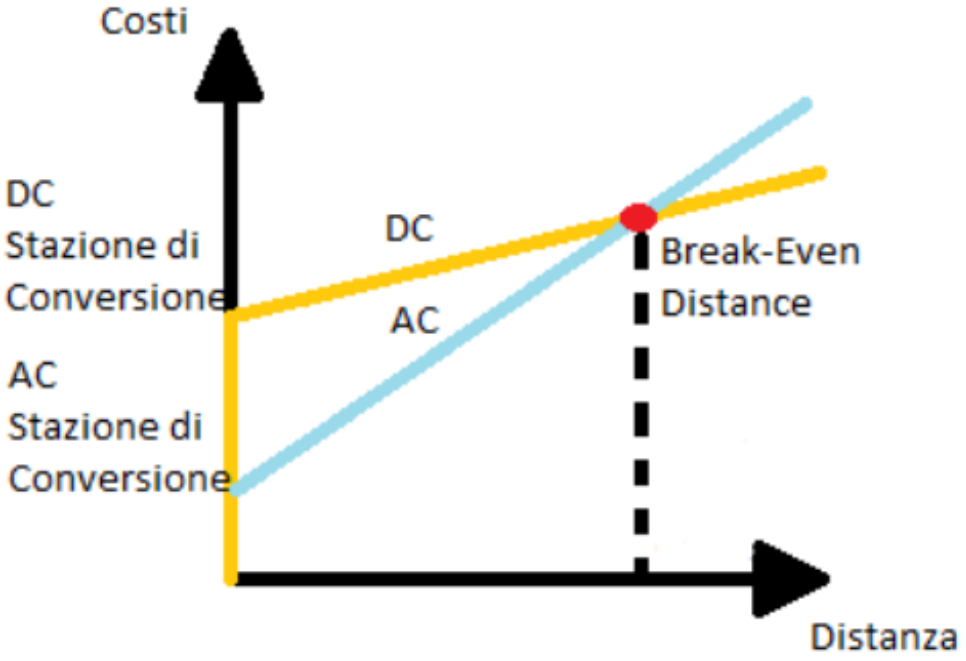
ECONOMIA/INGOMBRO

www.dii.unipd.it





Conversione da AC a DC nel progetto UltraNet in Germania



A parità di potenza trasmessa la distanza di break-even è:

- Per linee aeree 500-800 [km]
- Per cavi sottomarini/terrestri 100-120 [km]

TECNOLOGIE DI CONVERSIONE

www.dii.unipd.it

REGIONE A

Stazione di conversione HVDC LCC

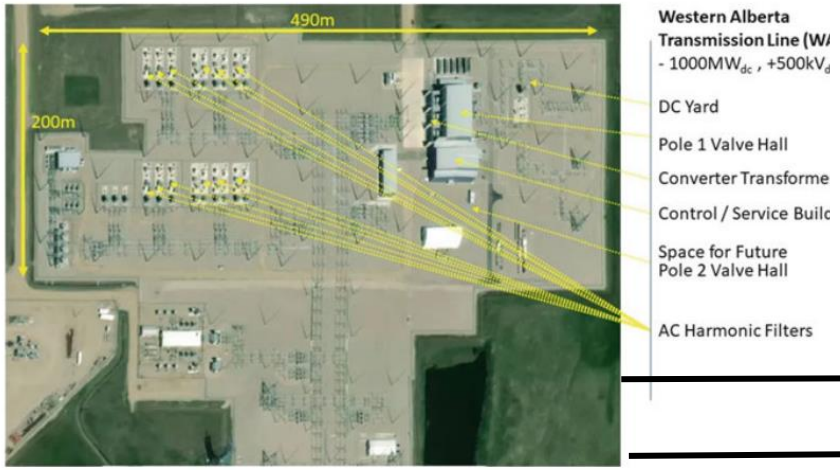
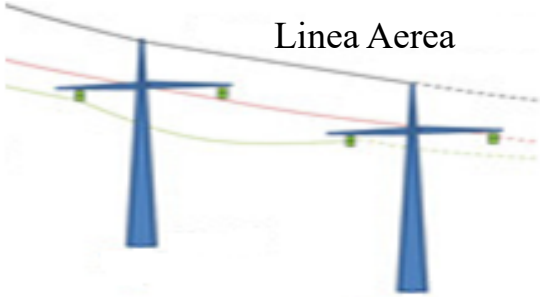


Fig. 2 Western Alberta Transmission Line HVDC Project Converter Station ogle Earth)

Linea Aerea



Linea in cavo MI

Stazione di conversione HVDC LCC

REGIONE B

REGIONE A

Stazione di conversione HVDC VSC

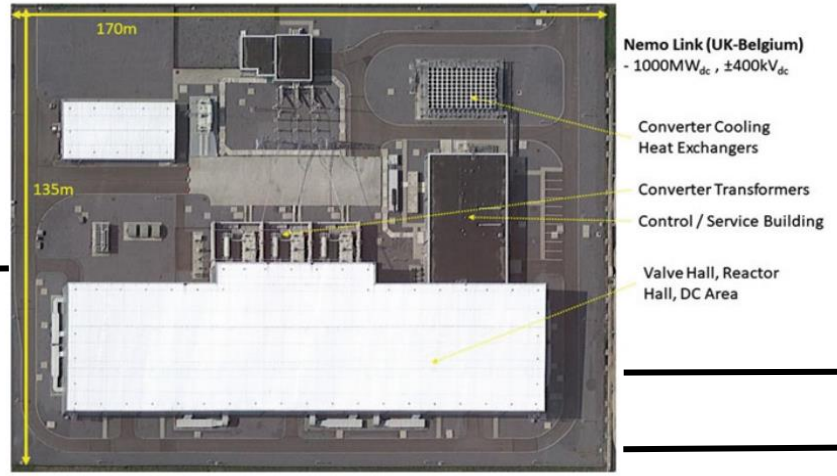
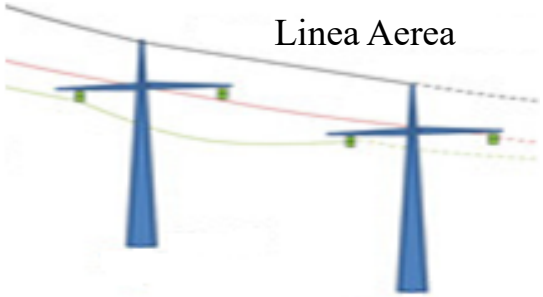


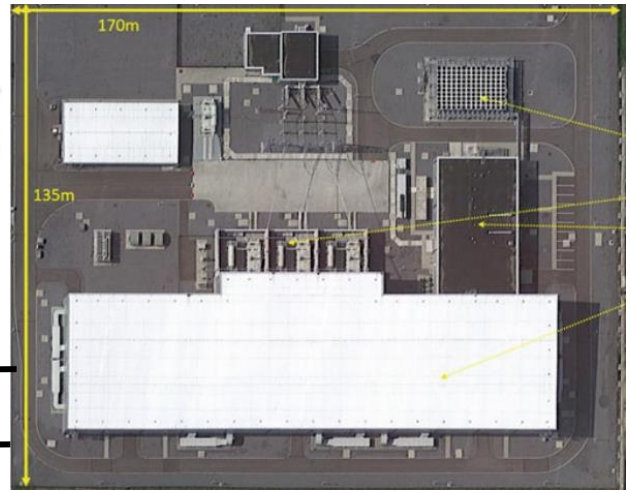
Fig. 6 Nemo Link UK-Belgium VSC 1000MW 400kV – Siemens Energy (Google Earth)

Linea Aerea



Linea in cavo XLPE

Stazione di conversione HVDC VSC

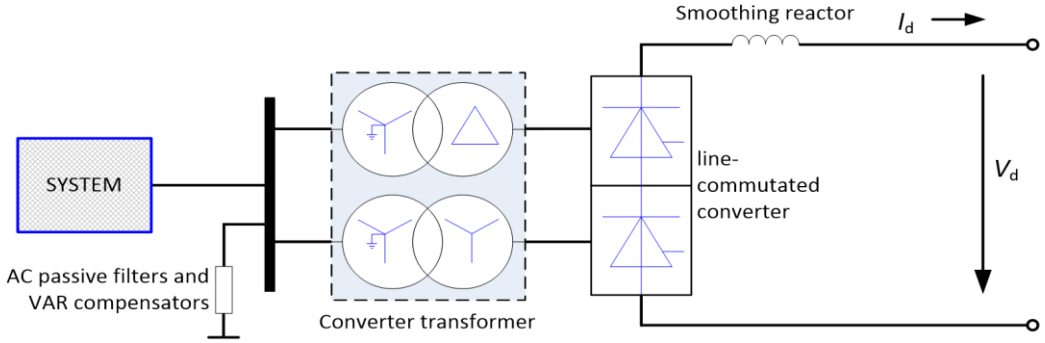


REGIONE B

Flusso di Potenza/Energia

TECNOLOGIE DI CONVERSIONE

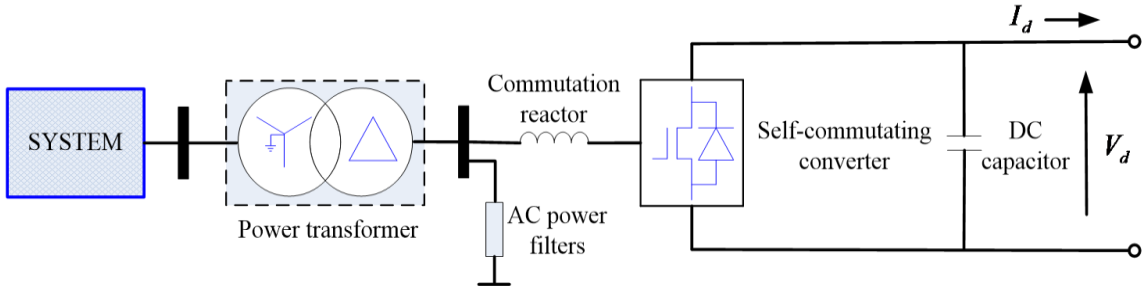
Line Commutated Converter (LCC)



Vantaggi
- Tecnologia consolidata con buona affidabilità e manutenzione minima;
- Capacità di trasmissione elevata su distanze molto lunghe;
- Basse perdite complessive;
- Costo specifico inferiore per grandi potenze.

Svantaggi
- Elevato consumo di potenza reattiva;
- Forte dipendenza dalla rete AC;
- Impossibilità di Black Start;
- Ingombro maggiore delle stazioni;
- Complessità nell'inversione del flusso di potenza;
- Non può essere utilizzato con sistemi AC deboli;
- Rischio di guasto di commutazione durante guasti sul lato AC;
- No controllo indipendente della potenza attiva e reattiva.

Voltage Source Converter (VSC)



Vantaggi
- Possibilità di utilizzare cavi in polietilene reticolato;
- Ingombro delle stazioni minore;
- Facilità di inversione del flusso;
- Controllo indipendente di potenza attiva e reattiva nella rete AC;
- Può funzionare con reti deboli o isole;
- Possibilità di Black Start.

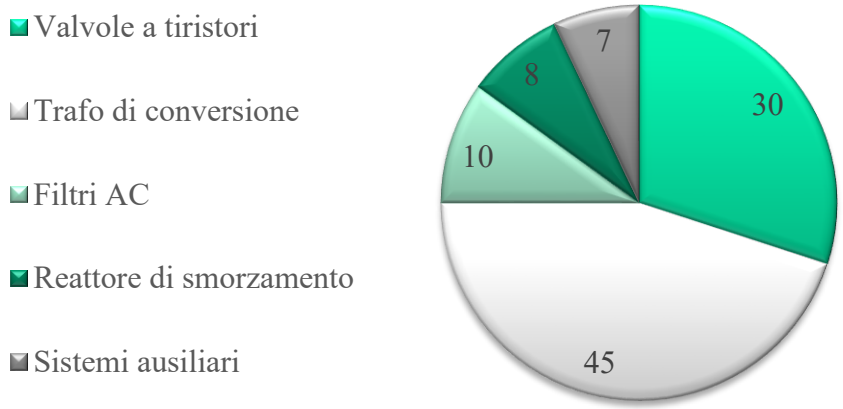
Svantaggi
- Perdite di conversione;
- Limitata capacità di sovraccarico;
- Complessità nelle topologie multilevel;
- Costo iniziale più elevato;
- Difficoltà di protezione da guasti sul lato DC.

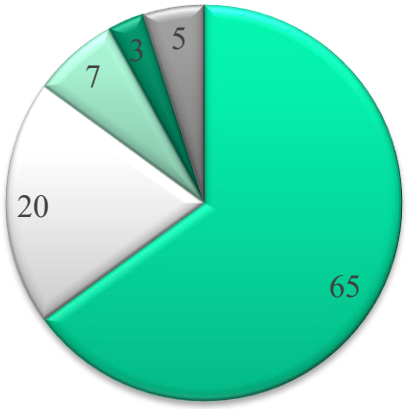
www.dii.unipd.it

PERDITE DI POTENZA

www.dii.unipd.it

Secondo le norme IEC 61803 per LCC e 62751 per VSC





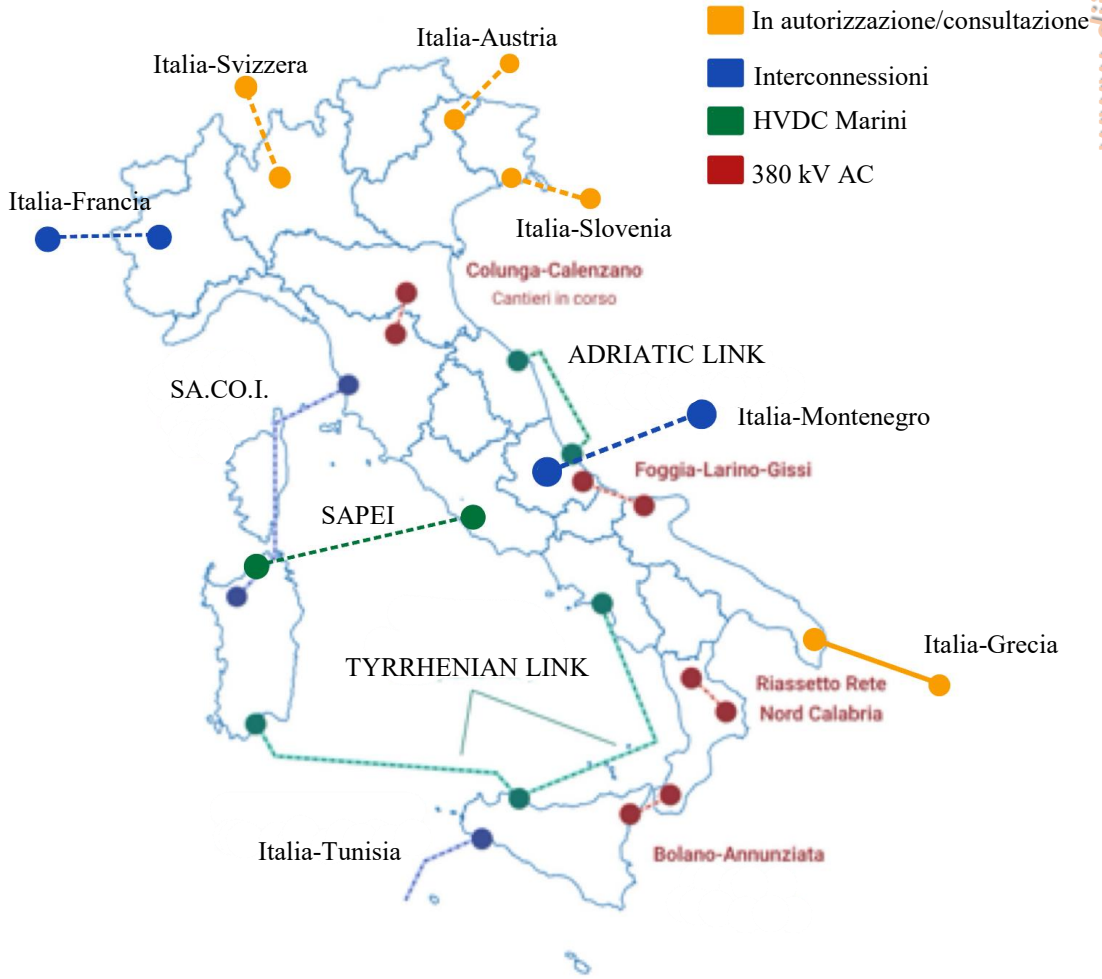
In una stazione LCC tipicamente le perdite complessive ammontano allo 0,5-0,7%.

In una stazione VSC tipicamente le perdite complessive ammontano allo 0,8-1,2%.

ALCUNI ESEMPI IN ITALIA

www.dii.unipd.it

	TIPO	ANNO	TENSIONE [V]	POTENZA [MW]	LUNGHEZZA [mt]	NOTE
SACOI 1 SACOI 2 SACOI 3	LCC LCC VSC	1968 1992 2029	200 ±200 ±200	200 300 400	385	MTDC
SAPEI	LCC	2011	±500	1000	435	PROFONDITÀ
TYRRHENIAN LINK	VSC	2028	±500	1000	970	MI
ADRIATIC LINK	VSC	2029	±500	1000	250	XLPE
MONITA MONITA 2	LCC	2019 2026	±500 ±500	600 1200	445	MI
GRITA GRITA 2	LCC VSC	2002 2031	±400 ±500	500 1000	300	MI
FRA-ITA	VSC	2023	±320	1200	190	XLPE
TUNITA	VSC	2028	±500	600	220	EXTRAUE



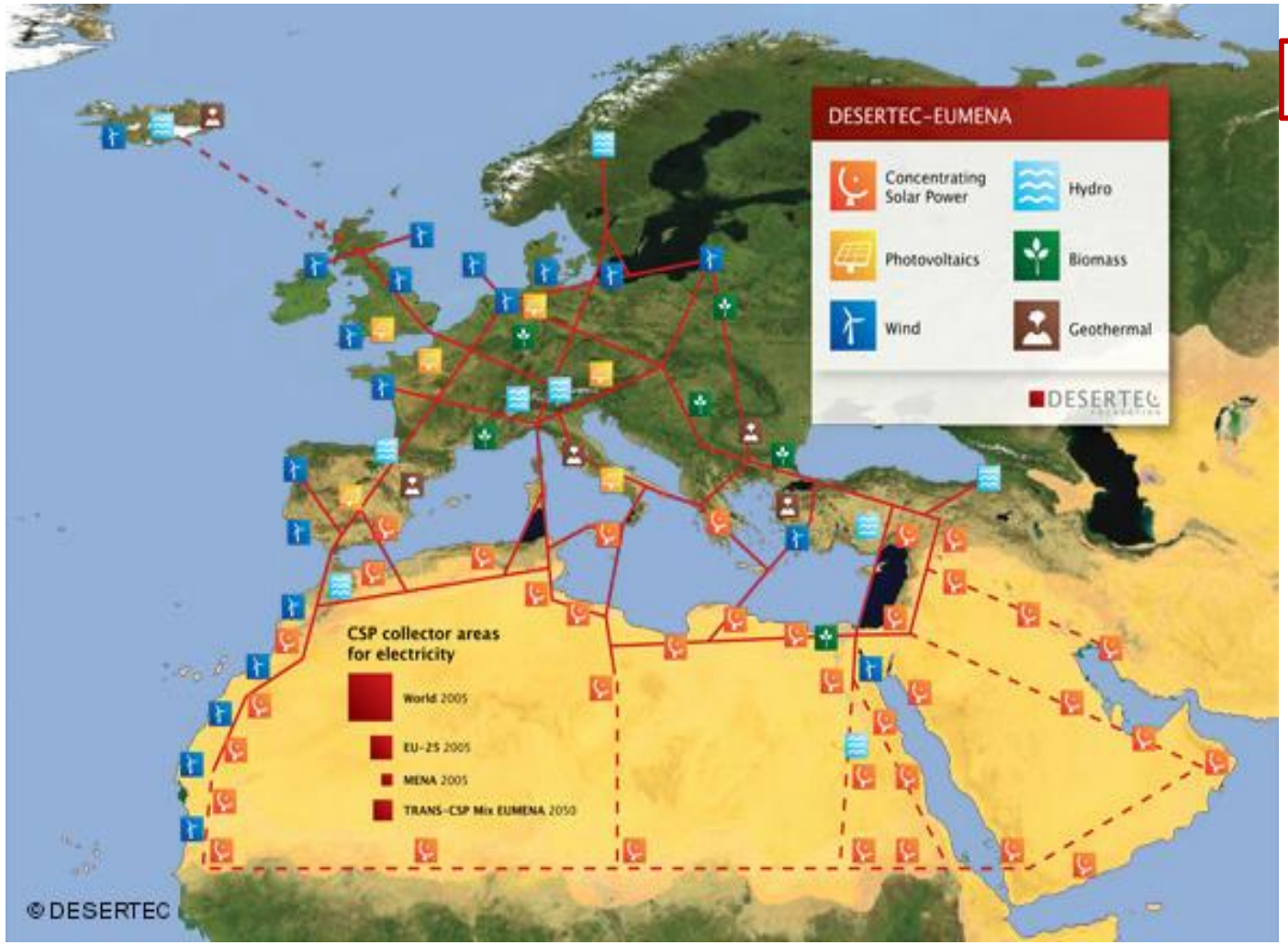
ALCUNI ESEMPI NEL MONDO

Nome del Progetto	Tipo	Anno	Potenza [MW]	Tensione [kV]	Lunghezza [km]	Note
Pacific DC Intertie	LCC	1970	3100	±500	1362	USA
Nelson River Bipole 2	LCC	1978	3824	±500	940	Canada
Fenno-Skan 2	LCC	2011	800	±500	200	Finlandia-Svezia
INELFE	VSC	2015	2000	±320	64	Francia-Spagna
DolWin1	VSC	2015	800	±320	165	Germania
North Sea Link	VSC	2021	1400	±525	720	UK-Norvegia
BorWin3Germania	VSC	2019	900	±320	160	Germania
Changji-Guquan (Zhundong-Anhui)	LCC	2019	12000	±1100	3300	UHVDC più lunga e potente al mondo
Zhangbei Project	VSC	2020	4500	±500	650	Cina Rete MTDC
Ushant-Quimper	VSC	2020	60	±75	35	Piccola isola connessa alla rete
WuDongDe / KunLiuLong	Ibrida	2021	1400 (VSC)	±800	625 (VSC)	Primo VSC MTDC
Nord Link	VSC	2021	1400	±500	625	Norvegia- Germania
SACOI-3	LCC	2029	1000	±200	385	Sardegna-Corsica-Italia
Viking Link UK-Denmark	VSC	2023	1400	±525	765	Linea HVDC Sottomarina più lunga

www.dii.unipd.it

CONCLUSIONI

www.dii.unipd.it



Unica grande rete elettrica con:

- Maggiore resistenza e stabilità
- Agevolare il commercio di energia
- Decongestionare corridoi esistenti
- Redistribuzione flussi di potenza

CONCLUSIONI

www.dii.unipd.it

Vi ringrazio per l'attenzione.