



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Il ruolo della Power-to-heat per la Carbon-Neutrality ed i suoi limiti: la proposta del Progetto 1.9 Solare termodinamico - PTR 2022- 2024 della RdS”

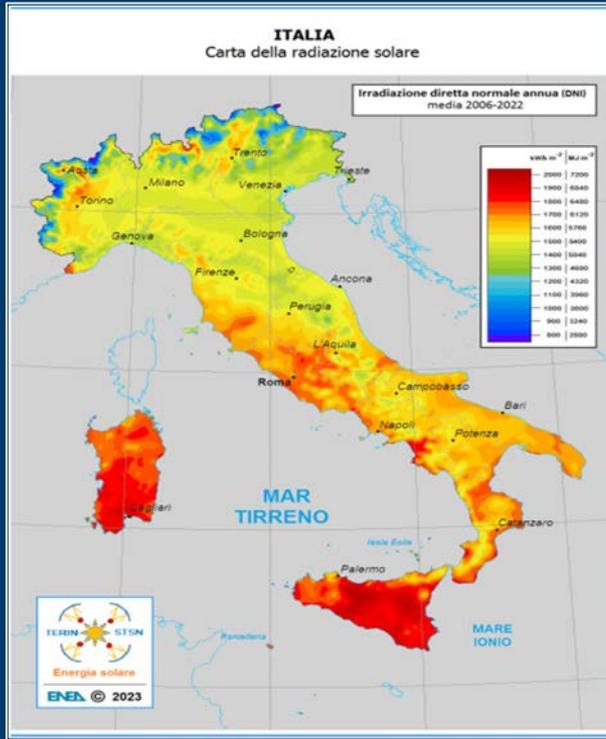
zeroEmission
MEDITERRANEAN 2024

Walter Gaggioli – Responsabile Divisione Smart Sector Integration

ENEA - Dipartimento "Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili"



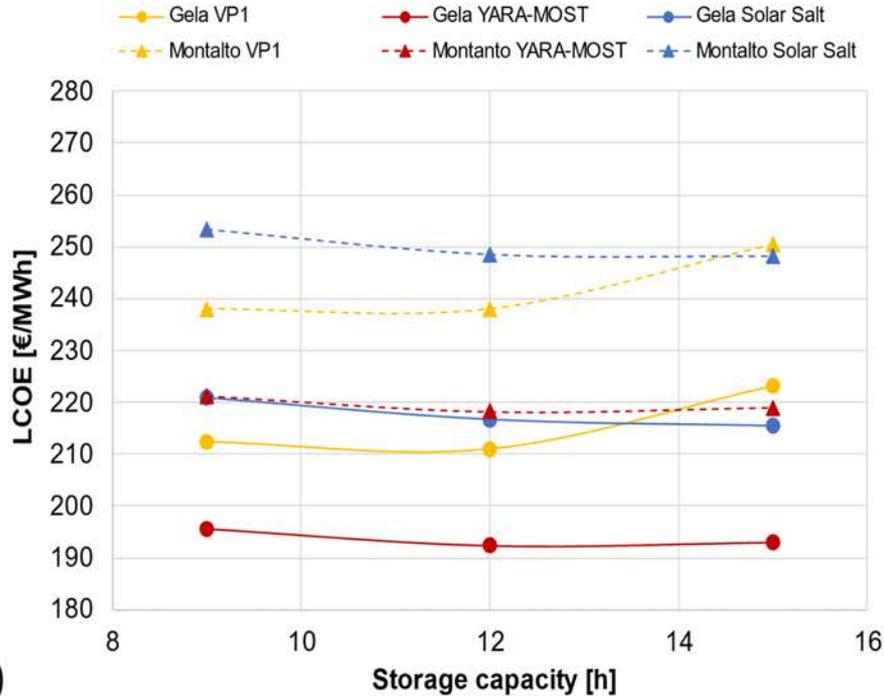
CST & potenziale radiativo in Italia



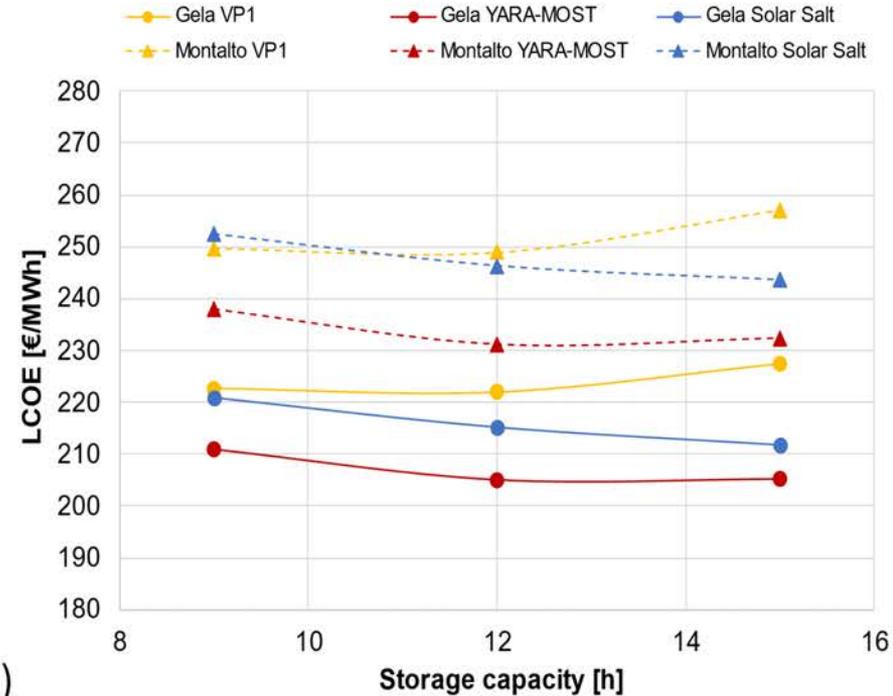
- attualmente, il livello minimo annuo di DNI richiesto affinché un impianto solare a concentrazione diventi redditizio produzione energia elettrica è di 1.800– 1900 kWh/m² all'anno;
- la soglia di DNI annua di convenienza per la produzione di calore (anche in forma cogenerativa) è di 1300 kWh/m² all'anno;
- la maggior parte del territorio italiano ricade nella fascia geografica classificata come «adatta» per CST;
- **217 km² with DNI > 2000 kWh/m²Y**

LCOE simulations scenarios

ENEA



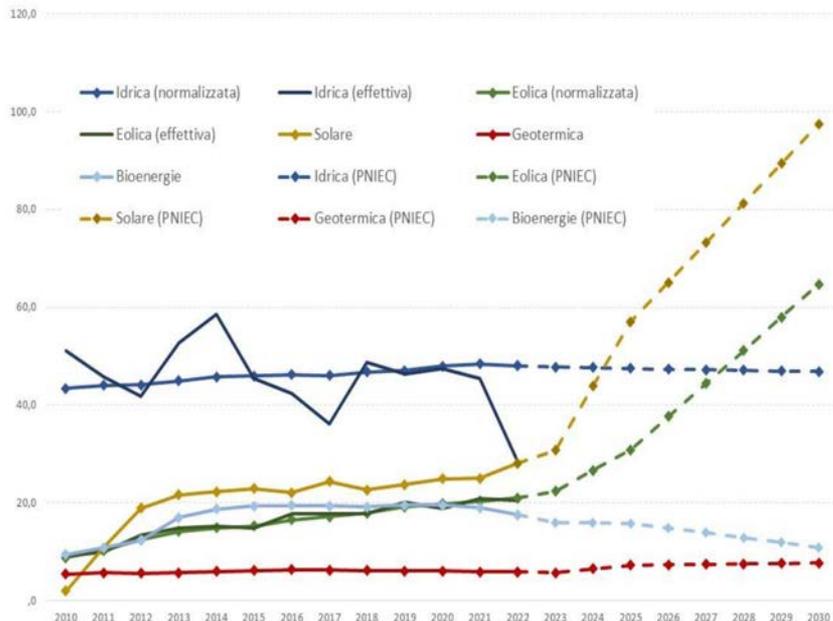
DLR



Comparative Techno-economic Analysis of Different Parabolic Trough CSP Plants for the Italian Market - Rome, 08/10/2024

Piano Nazionale Energia e Clima (PNIEC)

Traiettorie di crescita dell'energia elettrica da FER [TWh] al 2030 (PNIEC)



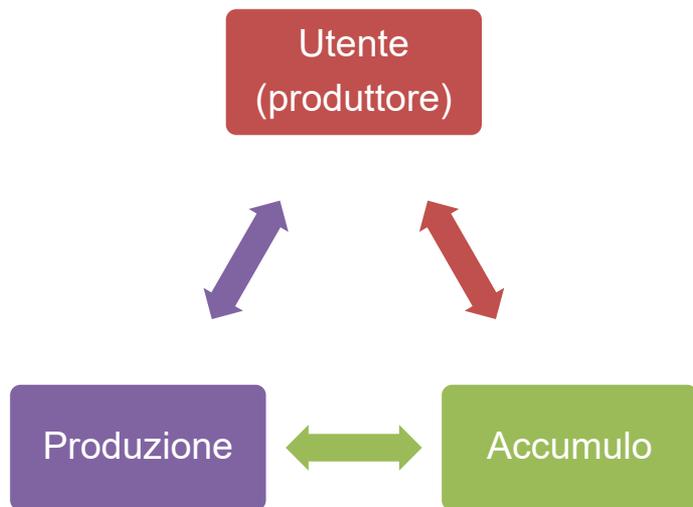
Il Piano Nazionale Energia e Clima (PNIEC) rappresenta uno strumento chiave nella definizione del quadro di attuazione delle politiche clima ed energia per l'Italia. Il Piano si struttura in **5 linee d'intervento: decarbonizzazione, efficienza energetica, sicurezza energetica, mercato interno dell'energia, ricerca, innovazione e competitività**

Obiettivi di crescita al 2030 della quota rinnovabile nel settore elettrico (MW)

	2022	2023	2025	2030
Idrica*	19.172	19.265	19.410	19.410
Geotermica**	817	818	954	1.000
Eolica	11.290	11.858	15.823	28.140
di cui offshore				2.100
Bioenergie	4.106	4.050	4.038	3.240
Solare***	22.594	25.064	44.173	79.253
- di cui a concentrazione				80
Totale	57.979	61.055	84.398	131.043

La digitalizzazione delle reti & transizione energetica

Il triangolo delle smart grid

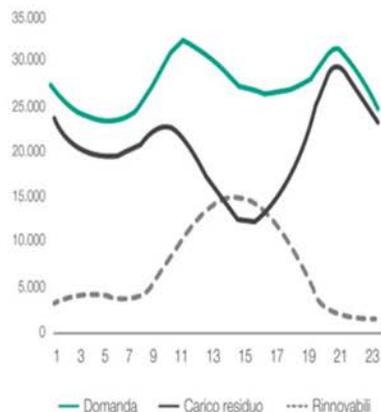


- **reti elettriche risentono delle temperature elevate derivanti dal cambiamento climatico** alcuni studi suggeriscono che, a livello globale, ogni grado Celsius di aumento della temperatura produce un incremento medio del 4% circa nel picco di domanda di elettricità
- La penetrazione dei veicoli elettrici possono avere un forte impatto sull'entità de picchi
- Nuovi Costi per i servizi di rete
- **carico residuo** viene definito come la differenza tra fabbisogno di energia elettrica e produzione proveniente da fonte rinnovabile non programmabile e **corrisponde di fatto all'effettivo carico che deve essere coperto da impianti "programmabili" per soddisfare il fabbisogno**

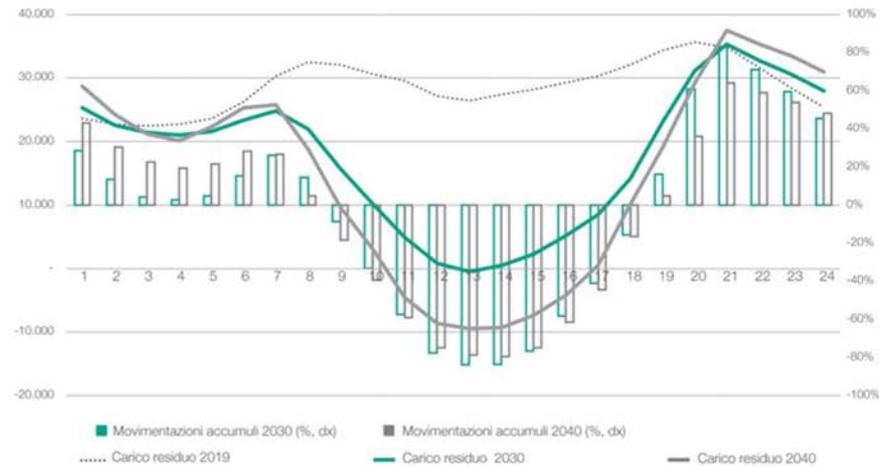
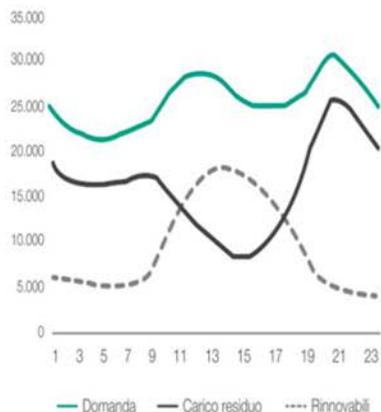
Evoluzione del carico residuo

Curve del fabbisogno giornaliero, della produzione fotovoltaica ed eolica e del carico residuo [GW]

Giorno Primavera 2021



Giorno Primavera 2022



Evoluzione del carico residuo

Il sistema elettrico fino ad oggi ha potuto fare **affidamento su una serie di servizi “impliciti”**, forniti da una flotta di **impianti rotanti**, in particolare termoelettrici.

Tali impianti, infatti, per loro caratteristiche intrinseche costruttive, contribuiscono al mantenimento della stabilità della frequenza e della tensione.

L'aumento delle esigenze di flessibilità del sistema elettrico rende necessario approvvigionarsi di servizi di rete da tutte le risorse disponibili a fornirli, aprendo il mercato dei servizi e incentivando la partecipazione a nuove risorse, quali ad esempio generazione distribuita, accumuli e domanda

Evoluzione del carico residuo

Risorse di rete Servizi di frequenza	TERMO- ELETRICO	FRNP	CONSUMO	IDRO / POMPAGGI	BATTERIE
FAST RESERVE*	—	✗	✗	✗	✓
PRIMARIA	✓	✗	✗	✓	✓
SECONDARIA	✓	— ↓	— ↑	✓	✓
TERZIARIA	✓	— ↓	— ↑	✓	—
RISOLUZIONE CONGESTIONI	✓	— ↓	— ↑	✓	—
BILANCIAMENTO	✓	— ↓	— ↑	✓	—
INTERROMPIBILITÀ	✗	✗	✓	✗	—

Risorse di rete Servizi di tensione	TERMO- ELETRICO	FRNP	CONSUMO	IDRO / POMPAGGI	BATTERIE	COMPENSATORI
PRIMARIA	✓	—	✗	✓	✓	✓
SECONDARIA	✓	—	✗	✓	✓	✓
RISOLUZIONE CONGESTIONI	✓	—	✗	✓	✓	✓

✓ Adatto a fornire il servizio

✗ Non adatto a fornire il servizio

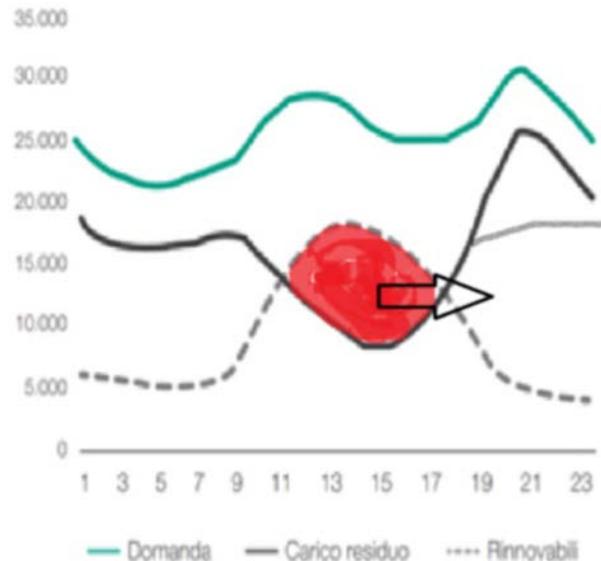
— In grado di fornire il servizio con dei limiti

↓↑ Solo regolazione a salire/scendere

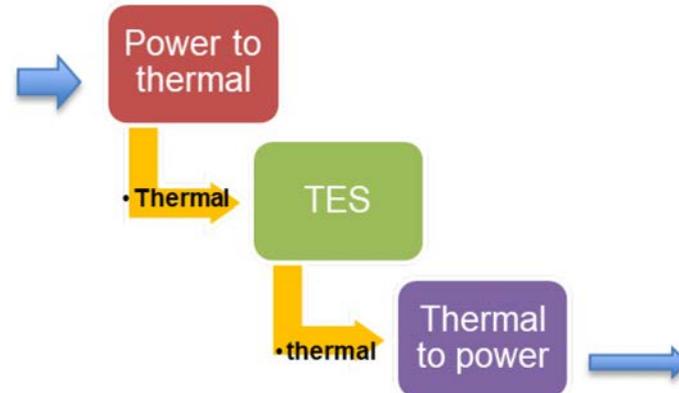
* Tempo di attivazione < 1 secondo

Funzioni carnot battery

Giorno Primavera 2022



Una batteria di Carnot trasforma l'elettricità in energia termica. Durante il processo di carica, l'elettricità in eccesso proveniente dai pannelli fotovoltaici e dalle turbine eoliche viene convertita in calore per mezzo di una pompa di calore e immagazzinata in serbatoi di sale fuso. Durante il processo di scarica, il calore immagazzinato viene riconvertito in energia elettrica.



Ibridizzazione CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili



Impianto CSP Fresnel a sali fusi "Sol.In.Par" a Partanna (TP)

15 ore accumulo full rate

4,2MWe

MT

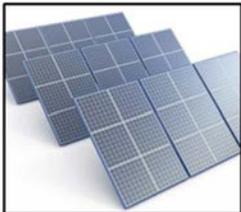
combinare i **bassi costi di generazione** dell'energia di tecnologie FER competitive (PV ed eolico, in primis) con **l'immissione programmabile in rete di elettricità** preservando la **stabilità e l'affidabilità della rete elettrica.**

Ibridizzazione CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili

Perchè



Integrazione con accumuli di energia termica (TES) che fanno uso di materiali non strategici e reperibili



Costo competitivo dell'elettricità immessa direttamente in rete

Energia programmabile a costi competitivi (rispetto a PV+BESS se copertura carico >40%)^[1,2]

Come

Funzionamento complementare (integrazione a livello di rete)

- ❖ PV genera elettricità durante le ore di sole
- ❖ CSP carica il TES → elettricità in assenza di sole

Funzionamento integrato a livello di tecnologia

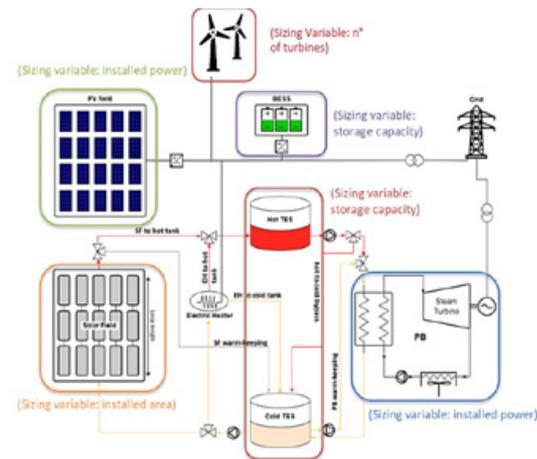
- ❖ PV
 - genera elettricità durante le ore di sole
 - contribuisce a caricare il TES nelle ore di picco
 - (fornisce elettricità per gli ausiliari del CSP)
- ❖ CSP carica il TES → elettricità in assenza di sole

Update 2023 CSP/CST Implementation Plan del set Plan:
Activity 7.3: Reliable CSP, PV and other renewables integration,
Activity 7.4: Promoting the utilization of CSP with thermal storage to facilitate variable RE penetration in the electrical system



Ibridizzazione CSP a livello di sistema

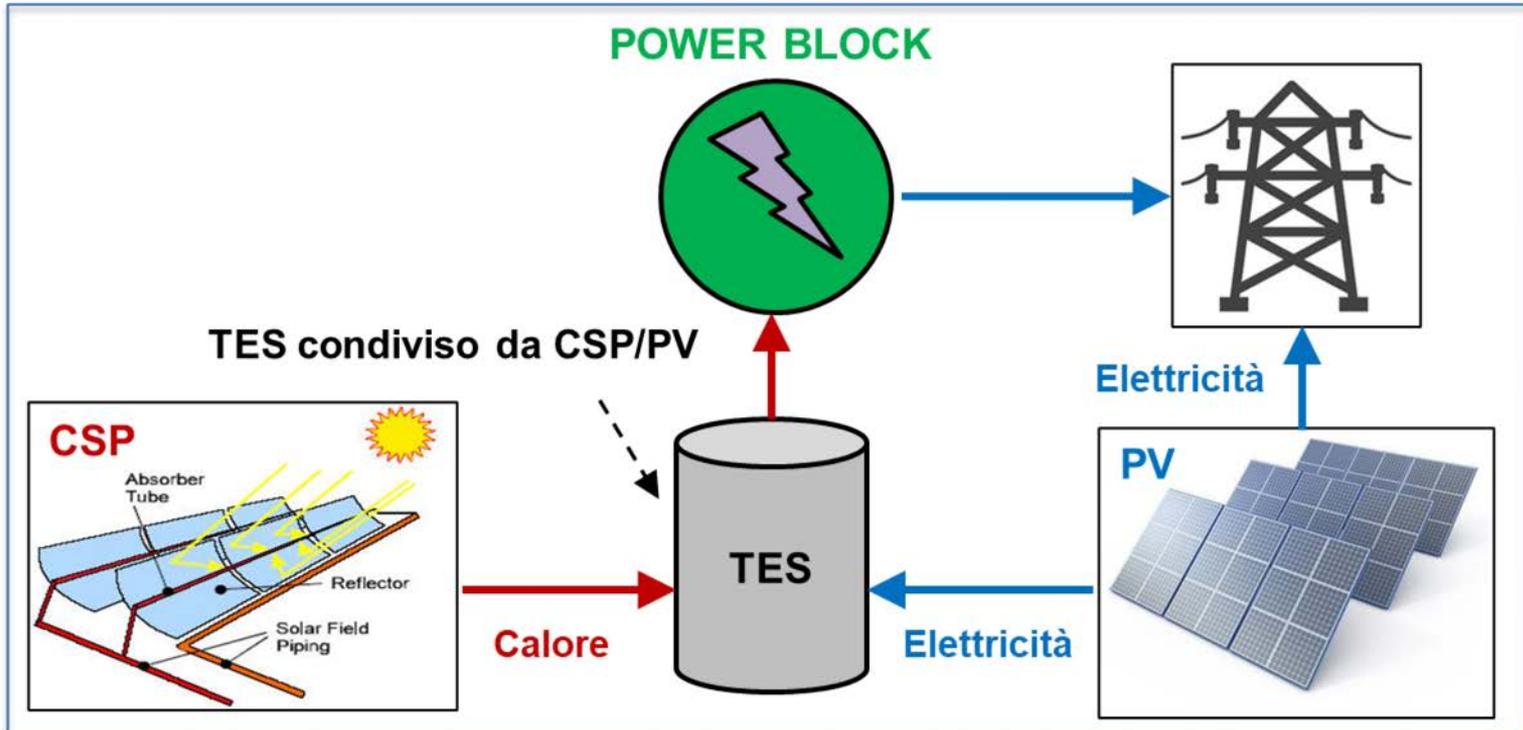
- Sviluppo di modelli di campi eolici e perfezionamento dei modelli di power block del CSP (cicli Rankine a vapor d'acqua e ORC).
- Simulazione e ottimizzazione del design di impianti ibridi CSP/PV, CSP/Eolici, PV/Eolici e CSP/PV/Eolici:
 - di scala medio-piccola (la più interessante per il territorio italiano), per scenari a domanda elettrica (i) costante e (ii) variabile (con profilo scalato rispetto alla domanda nazionale);
 - che operino sul (i) Mercato del Giorno Prima (MGP) e (ii) sul Mercato dei Servizi di Dispacciamento (MSD), per diversi scenari di prezzi (attuali e futuri) dell'elettricità.
- Confronto, in termini di costo dell'elettricità prodotta e di dispacciabilità, tra (i) impianti CSP, PV ed eolici non ibridizzati, (ii) impianti ibridi CSP/PV, CSP/Eolici e PV/Eolici ottimizzati e (iii) impianti ibridi CSP/PV/Eolici ottimizzati.



Schema di impianto ibrido CSP/PV/Eolico con le principali variabili di design

Ibridizzazione CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili

Ibridizzazione CSP/PV: funzionamento integrato a livello di tecnologia



Ibridizzazione CSP con altre tecnologie energetiche rinnovabili

1) Offrire **soluzioni tecnicamente** fattibili per l'ibridizzazione degli **accumuli termoclini** con innovazioni a **TRL 5-7**

Attività: Sviluppo di sistemi di accumulo termocline ibridizzato

Come progettare e gestire un serbatoio termocline alimentato da doppia tecnologia energetica

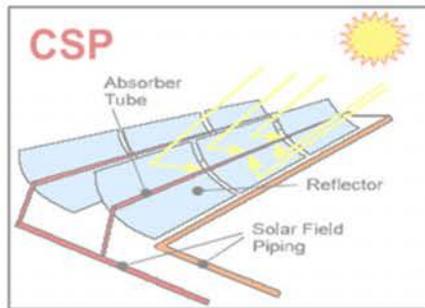
POWER BLOCK



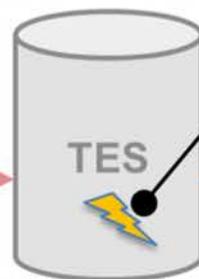
2) Incrementare la **versatilità e la risposta dinamica** dei sistemi di accumulo ibridi, con innovazioni a **TRL 2-3**

Attività: Sviluppo di sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi

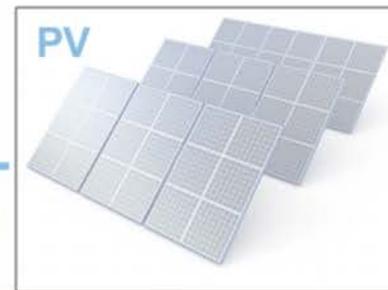
Come convertire efficacemente l'elettricità in calore e trasferirla direttamente nel serbatoio



Calore



Elettricità



Sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi

Risultati dell'analisi teorica basata su modelli matematici

Miglior compromesso tra innovazione e fattibilità tecnologica (nel «proof of concept» potenza ≥ 100 W/kg)

Tecnologia	Vantaggi	Svantaggi
Effetto Joule	Tecnologia più matura	Scambio termico di superficie: la max potenza scaricabile è limitata (quando il sale è vicino alla max temperatura operativa)
Microonde	<ol style="list-style-type: none">1. Riscaldamento volumetrico2. Nessuna particolare limitazione di potenza3. Disponibili sistemi di generazione commerciali adatti a sperimentazioni di laboratorio (1-3 kW)	Si conosce poco delle proprietà dielettriche dei sali alle frequenze delle microonde
Induzione (diretta/indiretta)	<ol style="list-style-type: none">1. Riscaldamento volumetrico2. Nessuna particolare limitazione di potenza	La corrente necessaria per il riscaldamento diretto a induzione del sale è probabilmente troppo alta

Sistemi di accumulo termoclino ibridizzati

Termoclino a sali fusi ibridizzato, alimentabile da CSP e da caldaia elettrica collegata a PV

Serbatoio di accumulo termoclino a sali fusi (miscela ternaria) alimentato esclusivamente da **tecnologia solare a concentrazione**

Serbatoio di accumulo termoclino a sali fusi (miscela ternaria) alimentato sia da tecnologia **solare a concentrazione** che da **fotovoltaico**

Impianto CSP

Scambiatore di scarica

Grandezza	U.M	Valore
Diámetro	m	1.3
Altezza	m	2.5
Massa Sali @320°C	kg	5295.1
Energia (DT=100°C)	kWh	220.6

Scambiatore di carica

Impianto CSP

Scambiatore di scarica

Impianto PV

Scambiatore di carica

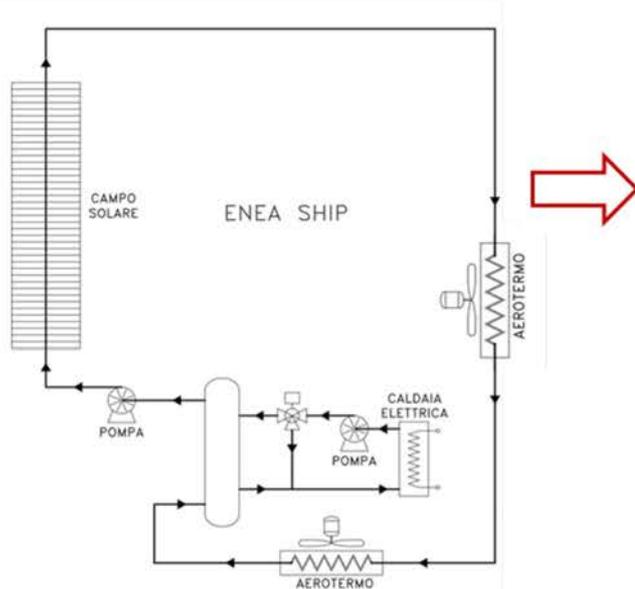
Scambiatore di carica

Configurazione del prototipo →
3 scambiatori elicoidali (serpentine) immersi nei sali fusi:

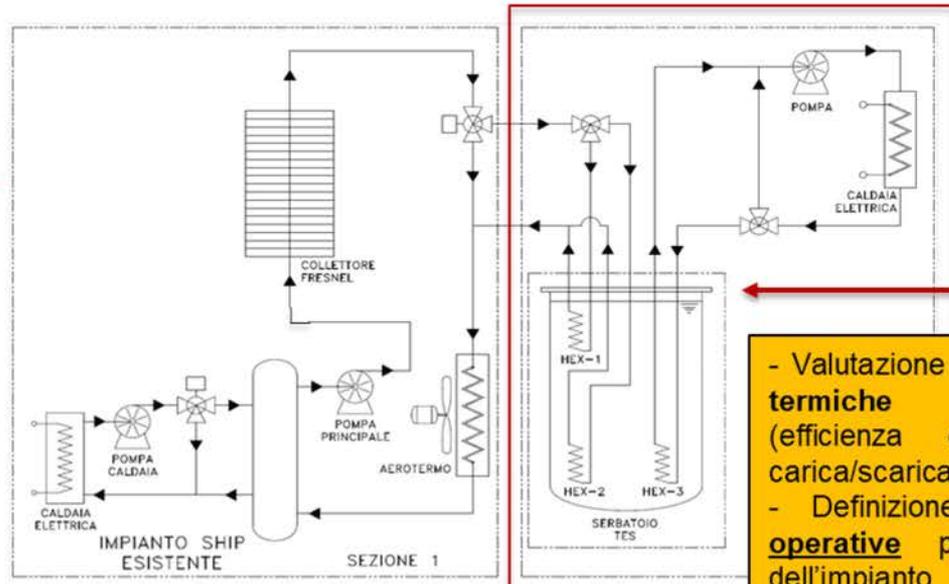
- (i) nelle 2 serpentine di carica (in rosso) circola olio diatermico riscaldato dal campo solare CSP e da una caldaia elettrica alimentabile da PV;
- (ii) l'olio diatermico che circola nella serpentina di scarica (in blu) si riscalda e fornisce calore di processo all'utenza.

Sistemi di accumulo termocline ibridizzati

Campagna sperimentale sull'impianto ENEA-SHIP con integrato il prototipo di accumulo ibridizzato



Impianto ENEA-SHIP



Nuovo circuito di impianto

- Valutazione delle **prestazioni termiche** del prototipo (efficienza e transitori di carica/scarica);
- Definizione di **procedure operative** per la gestione dell'impianto ibridizzato ottimizzate per la produzione e fornitura di calore

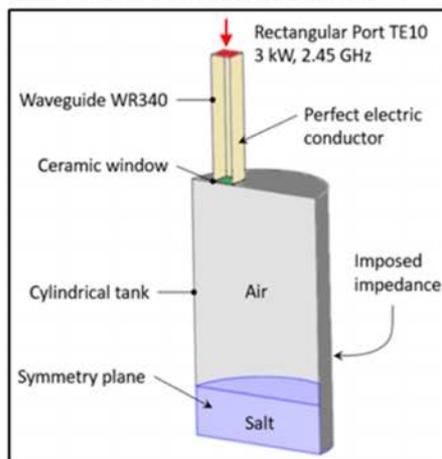
Sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi

Dispositivo sperimentale: progettazione mediante modello numerico

Scopo dispositivo sperimentale: osservare macroscopicamente il fenomeno, verificare la fattibilità dell'utilizzo delle micro-onde per riscaldare i sali in un ampio range di temperatura e all'interno di un volume confinato (sistema termoclino)

PROBLEMA MULTI-FISICO

MODELLO ELETTROMAGNETICO

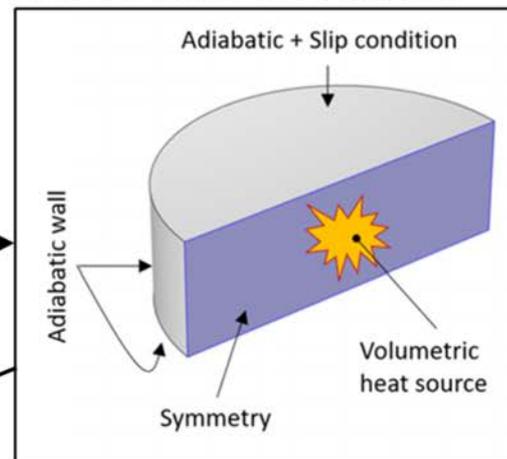


Studio parametrico su una selezione di parametri

Potenza dissipata
(sorgente termica volumetrica)

Distribuzione della temperatura dei sali

MODELLO TERMO FLUIDO-DINAMICO



Dominio computazionale

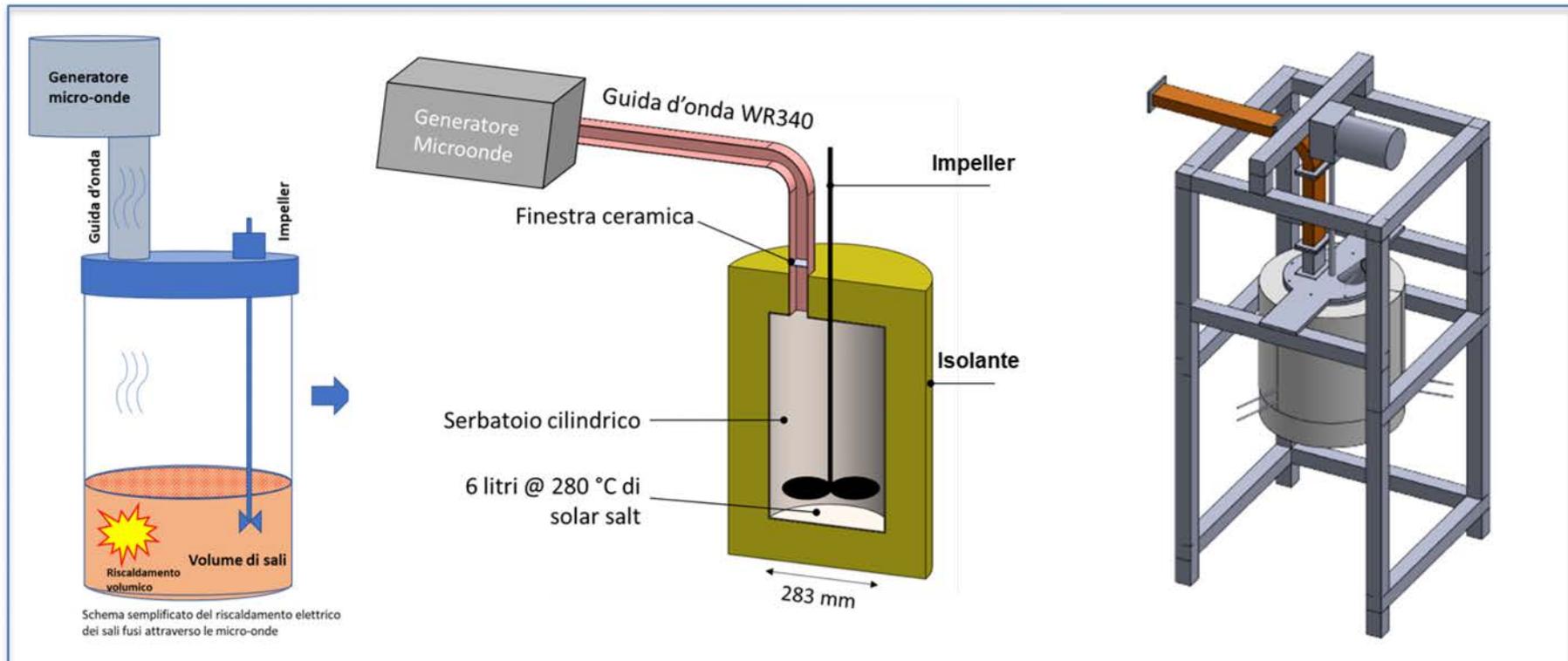
- Sali + aria + tratto guida d'onda
- Metà serbatoio (simmetria)

Dominio computazionale

- Sali
- Metà serbatoio (simmetria)

Sistemi innovativi di riscaldamento elettrico dei sali fusi

Dispositivo sperimentale: set-up sperimentale



Scopo delle sperimentazioni

Dimostrare sperimentalmente la fattibilità di una tecnologia di riscaldamento a microonde direttamente integrata in un serbatoio di sale solare su scala di laboratorio

Progetto e commissioning



Caratterizzazione termica



Caratterizzazione elettromagnetica



Microwave heating



Test facility ENEA Casaccia

Grazie per l'attenzione
Ing. Walter Gaggioli

walter.gaggioli@enea.it

